

MESG
MESTRADO EM ENGENHARIA
DE SERVIÇOS E GESTÃO

**Escalamento de Inspectores de Aviação Civil no Brasil:
Formalização do Problema e Metodologia de Resolução**

Marco Antonio Diniz Silva

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Dr. Jorge Freire de Sousa

Coorientador na FEUP: Prof. Dr. Jorge Pinho de Sousa



2018-09-24

Resumo

O presente estudo contextualiza e apresenta uma proposta de solução para o problema da escala de inspetores de aviação civil no Brasil. Mediante uma sólida formalização do problema e da sua modelagem matemática, uma heurística construtiva foi desenvolvida para atuar como mecanismo de otimização na árdua tarefa de alocar esses inspetores nas mais diversas atividades de inspeção, tendo como objetivos a minimização dos custos associados aos deslocamentos e a maximização da satisfação laboral, essa última mensurada através das preferências dos inspetores quanto ao tipo de atividade e quanto à localização das inspeções. O algoritmo proposto procurou respeitar todas as restrições do problema, nomeadamente, as restrições de metas anuais individuais, de carga de trabalho mínima e máxima mensal, e de equilíbrio de carga de trabalho entre os indivíduos. Por último, o algoritmo também se empenhou na busca pela “satisfação homogênea” dos inspetores, por meio da imposição de um limite máximo aceitável para a diferença de satisfação entre dois inspetores quaisquer.

Como resultado, o algoritmo proposto foi capaz de definir as equipes de todas as inspeções de fiscalização programadas para o ano, de maneira a atender todos os objetivos almejados, ao mesmo tempo que cumprindo, de forma rígida, todas as restrições impostas pelo problema. Para se chegar a isso, o algoritmo baseou-se no relaxamento seletivo das restrições, sempre buscando uma melhor solução a cada nova iteração. O algoritmo demonstrou uma grande capacidade de convergência, alcançando, após poucos ciclos, uma solução não só satisfatória como livre de qualquer violação de restrição.

Palavras-chave: Escala, Escalação, Escalamento, Aviação Civil, Otimização, Alocação, Afetação, Heurística Construtiva, Algoritmo Iterativo, Preferências, Satisfação Laboral, Satisfação Homogênea, Equilíbrio, Balanceamento, Relaxamento de Restrições.

Personnel Scheduling of Civil Aviation Inspections in Brazil: Problem Formulation and Resolution Methodology

Abstract

This study contextualizes and proposes a solution for the real problem of personnel scheduling in civil aviation inspections in Brazil. Through a solid formulation of the problem and its mathematical modeling, a constructive heuristic was developed to be applied as an optimization algorithm in the hard task of assigning inspectors to a range of different kind of inspection activities, with the objectives of minimizing travelling costs and maximizing job satisfaction, this last one measured by inspectors' preferences for kind of inspections and inspections location. The proposed algorithm also aims to comply with all the constraints, namely, the constraints of inspectors' annual goals, minimum and maximum monthly workload, and workload balance between individuals. Finally, the algorithm also seeks the "homogeneous satisfaction" of the inspectors, by imposing a limit for the difference in satisfaction between any two inspectors.

The proposed algorithm was capable to define the teams of all the inspections of the year, meeting all the objectives, while at the same time complying with all hard constraints imposed by the problem. The algorithm works by relaxing the constraints to search for a better solution each new iteration. The algorithm demonstrated a great capacity of convergence, reaching after few cycles not only a satisfactory solution but also free of constraint violations.

Keywords: Personnel Scheduling, Civil Aviation, Optimization, Assignment, Constructive Heuristic, Iterative Algorithm, Preferences, Job Satisfaction, Homogeneous Satisfaction, Balancing, Constraints Relaxation.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer à diretoria da ANAC e ao Núcleo de Capacitação da agência, responsáveis pela oportunidade de eu ter realizado esse mestrado.

Gostaria de agradecer ao Superintendente de Padrões Operacionais (SPO) da ANAC, Sr. Wagner William de Souza Moraes, pelo incentivo, pela disponibilização dos dados e principalmente pela aprovação da minha proposta de mestrado.

Gostaria de agradecer ao Gerente de Normas Operacionais e Suporte (GNOS) da SPO, Sr. João Souza Dias Garcia, pelo incentivo, pela oportunidade a mim oferecida e pelos anos de trabalho juntos.

Gostaria de agradecer ao Coordenador de Análise, Desempenho e Informação (CADI) da GNOS, Sr. Vitor Gonçalves da Silva Caldeira Loureiro, que como responsável direto pelo fornecimento dos dados para o presente estudo, o fez com maestria, inclusive sempre sendo solícito a qualquer necessidade adicional de dados.

Gostaria de agradecer ao núcleo do Mestrado em Engenharia de Serviços e Gestão (MESG), pela aceitação da minha candidatura ao curso e pela ótima estrutura física e educacional que encontrei, na qual pude aproveitar ao máximo a oportunidade de aprendizagem, através de um vasto leque de campos de conhecimento explorados nas aulas e projetos disciplinares.

Gostaria de agradecer a todos os professores do MESG com os quais tive o prazer de conviver e aprender. A pluralidade com a qual me deparei foi uma das mais gratas surpresas desse mestrado. A interdisciplinaridade do curso ampliou significativamente meus horizontes e encerro essa jornada muito mais preparado do que quando a iniciei.

Gostaria de fazer um agradecimento em especial aos meus orientadores, Prof. Dr. Jorge Freire de Sousa e Prof. Dr. Jorge Pinho de Sousa, pelo suporte, pela paciência, pelo tempo, pelas revisões, pelas correções de rumo, e por todas as reuniões que se disponibilizaram a fazer com o único intuito de me orientar e ajudar.

Por fim, gostaria de agradecer aos meus pais, que mesmo à distância, sempre me deram todo o apoio necessário, sendo minha certeza de porto seguro para qualquer situação.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	3
1.1	Contexto do Projeto: Inspeções de Certificação e Fiscalização da ANAC	3
1.2	Descrição do Problema	4
1.3	Objetivos da Pesquisa	7
1.4	Organização do Documento	8
2	Revisão da Literatura	9
2.1	Contextualização	9
2.2	Problemas de Otimização de Grade Horária	10
2.3	Heurísticas Construtivas	13
2.4	Considerações Finais	15
3	Projeto de Escala de Inspetores da ANAC	17
3.1	Mapeamento Detalhado do Problema	17
3.1.1	Volume de Inspeções e Prazo de Cumprimento	17
3.1.2	Atividades Paralelas	19
3.1.3	Qualificações dos Inspetores vs Qualificações exigidas por Tipo de Inspeção	19
3.1.4	Distribuição Equilibrada de Carga de Trabalho	20
3.1.5	Custo vs Localização Geográfica dos Inspetores	21
3.2	Objetivo	23
3.2.1	Preferência dos inspetores	24
3.2.2	Agrupamento dos inspetores	25
4	Estrutura dos Dados	27
4.1	SICOS	27
4.2	SISCALA (32EP)	28
4.3	CAPACITOR	30
4.4	Ferramenta de Acompanhamento do PTA	31
4.5	Ferramenta de análise de custos de viagens	32
4.6	Proteção dos Dados	32
5	Modelagem Matemática da Escala de Inspetores	33
5.1	Cálculo do Coeficiente de Preferência dos Inspetores	33
5.2	Inspeções Programadas vs Inspeções Demandadas	33
5.2.1	Função Objetivo e Restrições para as Inspeções Programadas	34
5.2.2	Função Objetivo e Restrições para as Inspeções Demandadas	37
6	Heurística Construtiva para a Escala dos Inspetores	45
6.1	Motivação e Resumo da Heurística	45
6.2	Heurística Construtiva para as Inspeções Programadas	49
6.3	Heurística Construtiva para as Inspeções Demandadas	68

7	Avaliação da Heurística Desenvolvida	69
7.1	Testes Realizados	69
7.2	Metas individuais e Limite de Carga de Trabalho Mensal como Prioridades	71
7.3	Estratégia para convergir mais rápido	73
7.4	Novas Configurações de Preferências dos Inspetores	76
7.4.1	Segunda Configuração de Preferências	76
7.4.2	Terceira Configuração de Preferências	78
7.5	Limite de Equilíbrio da Carga de Trabalho	80
7.6	Limite de Equilíbrio da Satisfação	82
7.7	Análise de Sensibilidade para o Equilíbrio da Carga de Trabalho	84
7.8	Análise de Sensibilidade para o Equilíbrio da Satisfação	85
8	Conclusões e Perspectivas de Trabalho Futuro	87
8.1	Conclusões	87
8.2	Perspectivas de Trabalho Futuro	88
	Referências	89
	Bibliografia	91
ANEXO A:	Extrato das inspeções de certificação de responsabilidade da SPO ...	93
ANEXO B:	Extrato das inspeções de fiscalização de responsabilidade da SPO...	94
ANEXO C:	Reprodução parcial da lista dos inspetores da SPO, com as atividades de inspeção que cada um se encontra simultaneamente qualificado e incumbido de realizar	95
ANEXO D:	Grupos de Inspetores criados para a distribuição equilibrada de atividades de inspeção programada	96
ANEXO E:	Reprodução parcial da tabela parametrizada de custo médio de passagens aéreas para se deslocar entre duas cidades (uma delas cidade-sede) .	97
ANEXO F:	Quantidade de inspeções de fiscalização programadas (PTA) na SPO por ano (nacionais + internacionais)	98
ANEXO G:	Reprodução parcial da tabela <i>solicitacoes</i> de <i>cheque</i> de piloto extraída do banco de dados do sistema 32EP	99
ANEXO H:	Reprodução parcial da tabela <i>missoes</i> vs <i>solicitacoes</i> extraída do banco de dados do sistema 32EP	101
ANEXO I:	Reprodução parcial da tabela <i>convocacoes</i> extraída do banco de dados do sistema 32EP	102

1 Introdução

1.1 Contexto do Projeto: Inspeções de Certificação e Fiscalização da ANAC

ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) é a agência reguladora responsável por toda a regulação do setor aéreo civil do Brasil. Esse órgão governamental trata tanto da regulação econômica quanto da regulação operacional do setor. Aeroportos, aeródromos, empresas de transporte aéreo, táxis aéreos, fabricação e manutenção aeronáutica, registro de aeronaves, escolas de aviação, aeroclubes, aviação recreativa, e, recentemente, operação com drones são exemplos de segmentos aeronáuticos regulados pela ANAC. Além disso, os profissionais envolvidos nessas atividades (pilotos, comissários de voo, mecânicos de voo, despachantes operacionais de voo, mecânicos de manutenção aeronáutica, agentes de segurança aeroportuários), assim como pilotos amadores, também atuam sob normas definidas por essa agência.

Por outro lado, a investigação de acidentes aeronáuticos e o controle do tráfego aéreo brasileiro estão sob responsabilidade dos militares, especificamente da Força Aérea Brasileira.

Dentre as atividades conduzidas pela ANAC, normatizar, certificar, fiscalizar e sancionar são os quatro pilares fundamentais que suportam a missão da agência de garantir a segurança e a excelência do sistema de aviação civil brasileiro. Tanto empresas quanto pessoas que pretendem operar no sistema de aviação do Brasil precisam ser previamente certificadas (autorizadas), demonstrando tanto capacidade técnica quanto capacidade para o cumprimento das normas vigentes. Ademais, tanto as empresas quanto os profissionais são inspecionados regularmente, com o propósito de se verificar o contínuo cumprimento dos requisitos. Finalmente, a agência dispõe do poder de aplicar sanções, que vão desde multas até a própria cassação da autorização.

Diante desses quatro processos-chave da ANAC, a certificação e a fiscalização apresentam a característica natural de demandar uma verificação *in loco* (inspeção), fora das instalações físicas da agência. Essa particularidade exige dos inspetores, além de qualificações específicas, deslocamentos frequentes ao longo de todo o território brasileiro, um país de dimensões continentais.

Esses deslocamentos acarretam diversas dificuldades e peculiaridades, dentre as quais podem-se destacar: grande volume de inspeções, cumprimento de prazos, conflito de calendário para montagem das equipes, localização geográfica dos inspetores, atividades paralelas dos inspetores (que têm outras incumbências laborais na agência), escassez de inspetores para certas inspeções (principalmente nas certificações que exigem piloto com uma determinada qualificação), custo com diárias e passagens.

Além disso, esses constantes deslocamentos impactam significativamente nas vidas profissional e particular dos inspetores, que por vezes precisam enfrentar longas viagens,

além de terem que se ausentar de casa com frequência. Tais circunstâncias acabam por interferir diretamente na rotina desses inspetores e, conseqüentemente, na qualidade de vida e na produtividade e satisfação laboral dos mesmos.

Pensando nessas dificuldades enfrentadas pela ANAC na execução das suas inspeções (atividades de natureza externa), juntamente com a busca por uma maior satisfação laboral dos inspetores, o presente documento apresenta um estudo detalhado dessa realidade e uma proposta de solução baseada em técnicas de heurísticas construtivas.

O principal objetivo desse trabalho foi encontrar um mecanismo de escala de inspetores que conciliasse: o cumprimento de todas as inspeções dentro do prazo, a minimização do custo de deslocamentos, e a qualidade de vida no trabalho. Para tal, buscou-se desenvolver uma ferramenta de alocação que não só contemplasse a minimização do custo, mas que também estivesse focada na maximização da satisfação média dos inspetores e, simultaneamente, na minimização da diferença entre essas satisfações (“satisfação homogênea”).

1.2 Descrição do Problema

Organizacionalmente, a ANAC é formada por uma diretoria colegiada, dez superintendências e algumas assessorias, conforme organograma apresentado na **Figura 1**.

Dentre as superintendências que realizam inspeções de certificação e fiscalização, no âmbito da regulação operacional, destacam-se as 3 superintendências a seguir:

SAR – Superintendência de Aeronavegabilidade

Essencialmente essa superintendência é responsável pela certificação de aeronaves, de produtos aeronáuticos e de modificações nas aeronaves, pelo registro e matrícula das aeronaves, além da regulação das empresas de manutenção aeronáutica.

SIA – Superintendência de Infraestrutura Aeroportuária

Em resumo, essa superintendência é responsável pela regulação dos aeródromos públicos e privados do Brasil, o que inclui os aeroportos. No que tange aos aeroportos, regula a operação, a manutenção, a resposta à emergência e a segurança contra atos de interferência ilícita.

SPO – Superintendência de Padrões Operacionais

Superintendência responsável pela regulação dos entes que de alguma forma estão ligados à operação aérea. Estão sob regulação dessa superintendência as empresas

aéreas, os táxis aéreos, as escolas de aviação, os aeroclubes e a aviação geral. Além disso, a maior parte dos profissionais da aviação, como pilotos (profissionais ou não), comissários de voo, mecânicos de voo, despachantes operacionais de voo e mecânicos de manutenção aeronáutica também estão sob a regulação dessa superintendência.

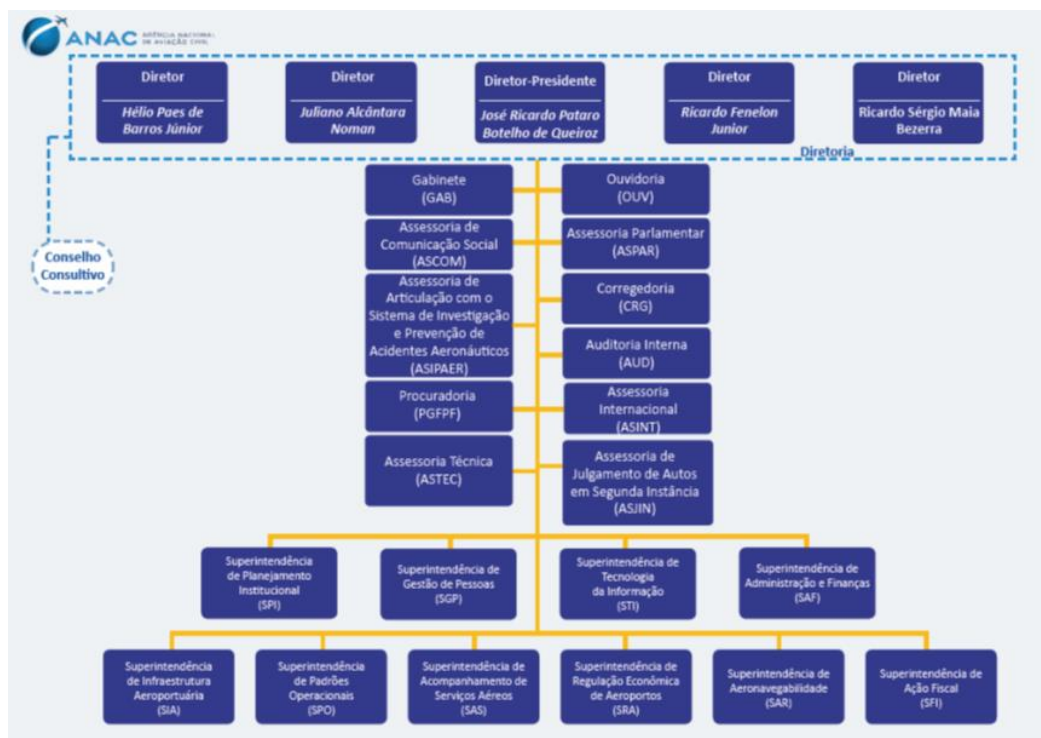


Figura 1 - Organograma da Agência Nacional de Aviação Civil brasileira. Fonte: ANAC.

Tendo em vista que a ANAC é dividida em superintendências e que elas lidam com contextos distintos, cada uma acabou por desenvolver ferramentas informáticas suplementares, tanto para facilitar a rotina de trabalho, quanto para enriquecer o registro de dados. Isto posto, e considerando que a SPO é a superintendência da ANAC que realiza mais inspeções de certificação e fiscalização, considerando ainda que suas ferramentas informáticas apresentam uma quantidade significativa e padronizada de dados relacionados a essas atividades, e finalmente, que o mecanismo de escala (alocação) de inspetores proposto ao final do presente estudo pode ser posteriormente estendido a toda a agência, o escopo desse trabalho foi limitado a SPO (**Figura 2**), ao invés de toda a ANAC.

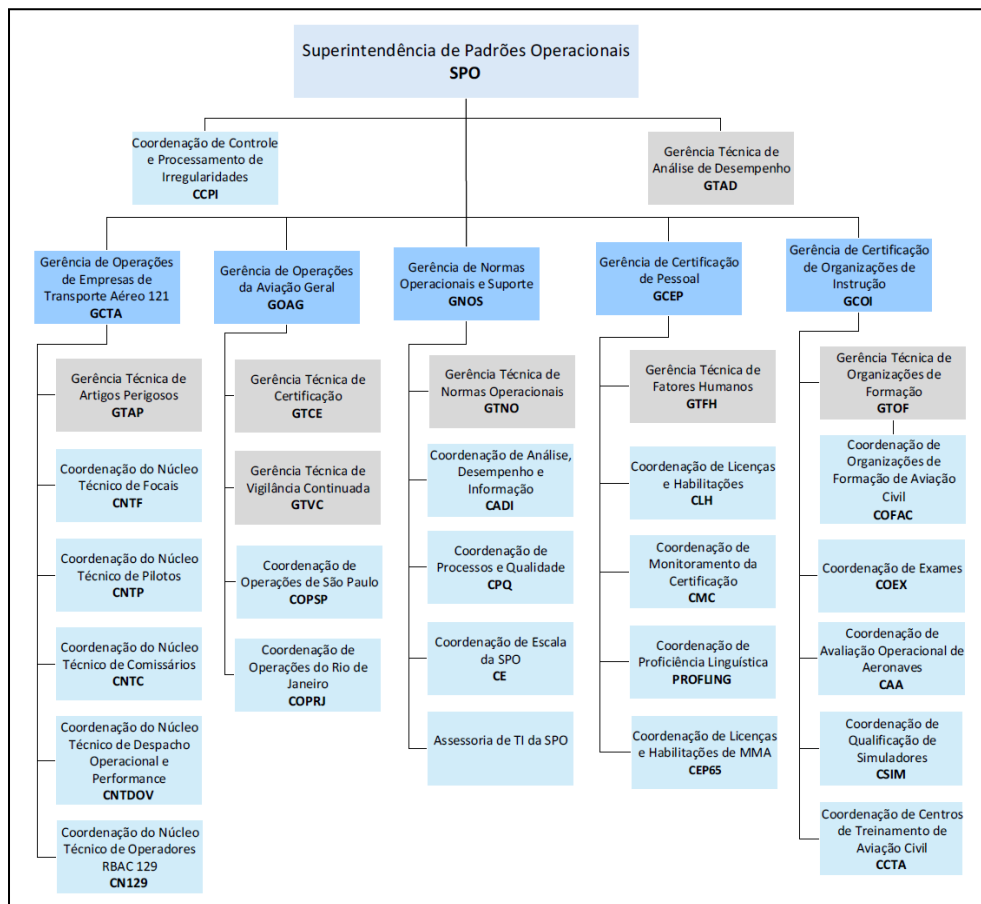


Figura 2 - Organograma da Superintendência de Padrões Operacionais (SPO). Fonte: ANAC.

A descrição detalhada de cada inspeção de certificação e fiscalização realizada pela SPO se encontra em um documento interno intitulado *Portfólio de Inspeções e Exames*. Os títulos de cada tipo de inspeção, assim como o tamanho das respectivas equipes e as durações médias de dias (desconsiderando os tempos de deslocamentos), estão listados nos *Anexo A* e *Anexo B* do presente documento.

As atividades de inspeção podem ser divididas em duas grandes categorias:

- (1) Programadas: Nesse grupo encontram-se as atividades de fiscalização planejadas ao final de cada ano para serem executadas ao longo do ano subsequente. Tal planejamento é internamente denominado na agência de Plano de Trabalho Anual (PTA);
- (2) Demandadas (não programadas): Nesse segundo grupo estão as demais atividades de inspeção, que vão surgindo sob demanda no decorrer do ano. Inspeção de Certificação, Exame de Proficiência Técnica, Apuração de Denúncia e Apuração de Incidente/Acidente são tipos de inspeção que se enquadram nessa segunda categoria.

Como fatores complicadores que surgem na montagem das equipes de cada inspeção, podem-se apontar:

- (1) O tamanho da equipe varia com o tipo de inspeção;
- (2) A duração da atividade varia com o tipo de inspeção;
- (3) O prazo para execução varia com o tipo de inspeção;
- (4) A qualificação mínima exigida aos inspetores varia com o tipo de inspeção;
- (5) Cada inspetor tem um conjunto distinto de qualificações;
- (6) O calendário de disponibilidade é diferente para cada inspetor;
- (7) A localização geográfica dos inspetores e das inspeções (economia de recurso) é diversa;
- (8) A meta de inspeções, inclusive por tipo de inspeção, é individualizada por inspetor.

Além disso, como as inspeções demandadas vão surgindo ao longo do ano e possuem prazo de execução, essas atividades acabam tendo suas equipes definidas à medida em que vão aparecendo. Trata-se de um volume significativo de atividades que, por conta do considerável e inerente grau de imprevisibilidade, dificulta ou mesmo inviabiliza um planejamento prévio para a montagem das equipes dessas inspeções.

Um outro agravante na montagem das equipes é a disponibilidade de cada inspetor. Nenhum desses profissionais tem a inspeção como atividade laboral exclusiva. Todos eles exercem outras atividades dentro da agência, o que traz mais um fator complicador ao problema.

Por fim, existe ainda a questão do custo que essas inspeções trazem à ANAC. Os deslocamentos desses profissionais acarretam em pagamento de diárias e passagens. Tendo em vista que os inspetores moram em diferentes regiões do Brasil, a localização geográfica deles em relação aos locais das inspeções é um fator que normalmente afeta a definição dos membros da equipe, já que sempre se busca reduzir o gasto anual da agência com essas atividades.

1.3 Objetivos da Pesquisa

O principal objetivo dessa pesquisa foi propor um mecanismo de escala (alocação) para definir as equipes de cada inspeção de certificação e fiscalização executada pela ANAC/SPO, de forma a atender os seguintes requisitos:

- (1) cumprimento de todas essas atividades dentro dos prazos estipulados;

- (2) cumprimento do limite de gastos estabelecidos, inclusive procurando a sua máxima redução;
- (3) Promoção da qualidade de vida no trabalho, através de uma escala que maximize a satisfação média dos inspetores e que, ao mesmo tempo, minimize a diferença entre essas satisfações (“satisfação homogênea”).

Para tal, foram estabelecidos os seguintes objetivos e resultados a alcançar:

- (1) Quais os critérios de decisão que devem ser considerados no desenvolvimento de uma ferramenta de escala de inspetores para esse problema em particular, inclusive os relacionados à satisfação laboral dos inspetores?
- (2) Que critérios devem ser usados para definir a qualidade da solução obtida, ou seja, para saber se a solução encontrada é satisfatória e para definir qual seria a melhor solução entre as várias soluções encontradas?
- (3) Quais são as técnicas de pesquisa operacional e de sistemas de apoio à decisão mais adequadas para desenvolver a solução pretendida, principalmente no que tange à busca da satisfação homogênea dos inspetores?
- (4) Para o desenvolvimento de uma melhor solução, existe a possibilidade de se aplicar mais de uma técnica simultaneamente, ou de forma complementar, ou ainda dividir o problema em problemas menores e independentes?

1.4 Organização do Documento

O presente documento foi dividido da seguinte forma: 1. Introdução: que se encerra com essa seção; 2. Revisão da Literatura: capítulo onde se faz um levantamento do estado da arte no âmbito de problemas de otimização similares; 3. Projeto de Escala de Inspetores da ANAC: capítulo onde o contexto da escala dentro da ANAC é descrito em detalhes, com a apresentação de todas as restrições e objetivos do problema; 4. Estrutura dos Dados: capítulo onde são descritos os sistemas computacionais responsáveis pelo fornecimento dos dados e que conjunto de dados cada um foi capaz de fornecer; 5. Modelagem Matemática da Escala de Inspetores: capítulo onde todas as restrições e funções objetivos são descritas matematicamente; 6. Heurística Construtiva para a Escala dos Inspetores: capítulo onde se apresenta uma proposta de algoritmo para atender o problema da escala; 7. Avaliação da Heurística Desenvolvida: capítulo onde se apresentam os resultados obtidos pelo mecanismo de escala proposto; 8. Conclusões e Perspectivas de Trabalho Futuro : capítulo final onde são feitas as considerações finais sobre o problema, o projeto, a heurística desenvolvida, os resultados alcançados e as perspectivas de trabalho futuro.

2 Revisão da Literatura

2.1 Contextualização

Tendo em vista que o problema de alocação de inspetores da ANAC se enquadra no problema de alocar pessoas para desempenharem tarefas, tal problema se caracteriza por ser um problema de otimização combinatória (NP-difícil), mais especificamente um problema de programação inteira binária pura. Buscou-se então na literatura problemas dessa natureza que mais se assemelhavam com as particularidades do problema sob estudo.

Os problemas de otimização de grade horária de institutos de ensino são problemas amplamente investigados pela comunidade acadêmica, cujo objetivo é conciliar os anseios da administração, dos professores e dos estudantes, para a construção da melhor grade horária possível, respeitando-se a limitação das salas de aulas existentes, de seus respectivos recursos educacionais e suas capacidades de lotação. Tais problemas apresentam algumas semelhanças com o problema de alocação de inspetores da ANAC.

Por não existir uma modelagem matemática de complexidade polinomial para esse tipo de problema (problema NP-difícil), e nem uma proposta de heurística que supere todas as outras para qualquer situação, tal gênero de problema vem sendo amplamente estudado nas últimas décadas. Com as mais variadas propostas de resolução, sempre se buscando melhores soluções com menos esforço computacional, cada proposta apresenta vantagens e desvantagens, a depender das peculiaridades do problema sob análise. Basicamente, a modelagem dos problemas de otimização de grade horária de institutos de ensino se resume a definir suas restrições rígidas e flexíveis, e propor um método de resolução que atenda todas as restrições rígidas e minimize o não cumprimento das restrições flexíveis, sendo essas últimas incorporadas à função objetivo.

A comunidade científica segmentou esse tipo de problema em três grandes categorias (Saviniec & Constantino, 2017): Programação de grade horária de cursos universitários (*University Course Timetabling Problems - UCTP*), Programação de grade horária escolar (*High School Timetabling Problems - HSTP*) e Programação de calendário de exames (*Examination Timetabling Problems*), com cada segmento contendo, além das restrições comuns entre si, um número de restrições específicas suficiente para justificar tal segmentação.

No caso do problema de alocação de inspetores da ANAC, ele se aproxima mais dos casos UCTP e HSTP. Tanto o UCTP quanto o HSTP podem ser encarados como a busca de uma solução simultânea para os seguintes sistemas (Breslaw, 1976): (1) Definição de que disciplinas serão ofertadas e em quantas sessões; (2) Alocação dos instrutores às disciplinas e às sessões; (3) Alocação das sessões às salas de aula; (4) Alocação dos estudantes às sessões de acordo com as disciplinas devidas (HSTP) ou escolhidas

(UCTP). E tudo isso sem que haja conflito de horário para nenhum estudante, instrutor, disciplina ou sala de aula.

Entre o HSTP e o UCTP, o problema da ANAC se identifica mais com esse último, já que, no caso do UCTP, geralmente se tem a preocupação com as preferências de disciplinas e de horários dos instrutores e estudantes, enquanto o HSTP costuma ter como foco maximizar a utilização dos instrutores e evitar horários vazios entre duas aulas no mesmo dia, tanto para estudantes, quanto para professores. Mas, devido às similaridades que essas duas categorias de problemas apresentam nas demais restrições, optou-se pela pesquisa bibliográfica de ambas.

Fazendo-se então um paralelo com o problema de alocação de inspetores da ANAC, as disciplinas equivaleriam aos tipos de inspeções, as sessões às inspeções em si, os instrutores aos inspetores, não havendo as figuras dos estudantes e nem das salas de aula. O problema da ANAC pode, portanto, ser encarado como um caso particular (subproblema) do UCTP ou HSTP. Além disso, o problema da ANAC não conta com o inconveniente de conflito de horário. Por outro lado, não se trata apenas de um caso simplificado, já que algumas complicações não existentes nos problemas de grade horária de institutos de ensino precisam ser incluídas no modelo da ANAC, a saber:

- (1) Por se tratarem de equipes de inspeção, o modelo precisa trabalhar com mais de um instrutor em simultâneo para cada sessão;
- (2) Na literatura, costuma-se tratar a carga de trabalho de cada instrutor individualmente, ou seja, com limites inferior e superior de carga horária. Já no caso sob estudo, além dessas restrições, existe uma adicional referente à busca pelo equilíbrio entre as cargas de trabalho dos inspetores;
- (3) Com uma nova visão para esse tipo de problema, o presente estudo propôs a busca por uma satisfação homogênea dos inspetores (instrutores), mesmo que isso possa implicar em uma redução na satisfação média ou no número de inspetores atendidos com suas primeiras opções.

2.2 Problemas de Otimização de Grade Horária

Nas últimas décadas, muitos investigadores vêm propondo inúmeras maneiras para resolver os problemas de otimização de grade horária de instituições de ensino, cada vez incorporando-se técnicas mais sofisticadas ao mecanismo de resolução. Entretanto, ainda não existe nenhum algoritmo que se apresente como a melhor ferramenta para qualquer problema dessa natureza.

Por ser um problema NP-difícil, a busca pelo ótimo global ou quase ótimo global pode ser computacionalmente inviável, no caso do problema apresentar grandes dimensões (muitas variáveis de decisão). Por conta disso, a literatura está atualmente voltada para a

busca de metaheurísticas e hiperheurísticas que possam cada vez mais lidar com problemas de maiores dimensões e, consequente, alta complexidade computacional.

Ozdemir & Gasimov (2004) apresentaram um modelo de solução exato, porém apenas para situações de pequena dimensão, através de uma programação binária multicritérios, sendo os critérios associados a satisfação dos instrutores e da administração. Para tal, os autores utilizaram o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para escalarizar o problema multi-objetivo em um problema mono-objetivo, e um método subgradiente adaptado para a sua resolução.

Para resolver esse tipo de problema, tanto Ozdemir & Gasimov (2004) quanto Al-Yakoob & Sherali (2013) concentraram-se nas preferências dos instrutores em relação às disciplinas e aos slots de horários disponíveis. Diferentemente dos primeiros, Al-Yakoob & Sherali (2013) trabalharam com o problema em grande escala (complexidade exponencial), fazendo uso de sucessivos relaxamentos lineares através do método heurístico de geração de colunas (*CGM - Column Generation Method*). O problema é resolvido em dois estágios, primeiro definindo os slots de horários para todas as sessões de aula para, num segundo momento, definir os instrutores para cada slot, ambos modelados através de MILP (*Mixed Integer Linear Programming*). Eles também demonstraram que essa abordagem tem tempos computacionais muito melhores do que a técnica de SFVH (*Sequential Fixing of Variables Heuristic*), anteriormente proposta pelos próprios autores (Al-Yakoob & Sherali, 2006). Todavia, questões de equilíbrio de cargas de trabalho e entre as satisfações dos instrutores não foram requisitos para a solução.

Com o interesse de levantar algoritmos focados em escalabilidade para esse tipo de problema, Babaei, Karimpour & Hadidi (2015) fizeram uma revisão de literatura dos métodos implementados por outros investigadores, especificamente para o caso do UCTP. Uma grande variedade dos métodos propostos até então foi analisada, comparando-se a eficiência e os esforços computacionais de cada um. Para tal, utilizou-se uma base de dados única. Na realidade, para que o comparativo fosse abrangente e imparcial, fez-se uso de quatro conjuntos de dados validados e amplamente aceitos pela comunidade científica de otimização, inclusive alguns deles utilizados em desafios acadêmicos: *Socha dataset*, *Ben Paechter dataset*, *ITC-2002* e *ITC-2007*. As propostas de resolução estudadas pelos autores eram baseadas nas seguintes técnicas de pesquisa operacional: (1) Métodos exatos: Coloração de Grafos, Programação inteira/linear – IP/LP, Programação de Restrições; (2) Metaheurísticas baseadas em ponto simples (uma solução de cada vez): busca de tabus, maleabilização simulada, busca local, busca em vizinhança variável; (3) Metaheurísticas baseadas em população de soluções: evolucionárias e genéticas, de colônia de formigas, de memes, de busca harmoniosa, de enxame de partículas, de colônia artificial de abelhas; (4) Métodos de inteligência artificial: métodos metaheurísticos híbridos (hiperheurísticas), lógica fuzzy; (5) Método de multi-agente distribuído (*Cooperative Search Method*). Ao final, levantou-se as

vantagens e desvantagens de cada um e nenhum deles conseguiu se mostrar superior para todos os casos, com o método multi-agente apresentando a melhor performance média.

Soria-Alcaraz et. al (2014), Ahmed, Özcan, & Kheiri (2015) e Soria-Alcaraz et. al (2016) abordam o problema utilizando hiperheurísticas, ou seja, baseando-se na seleção dinâmica de vários tipos de operadores heurísticos de movimento, inclusive com o uso de *machine learning* para tomar as decisões relativas ao próximo movimento (*adaptive operator selection*), de acordo com as performances das iterações anteriores.

Já Shiau (2011) trabalhou com um algoritmo baseado na técnica de otimização por enxame de partículas (PSO – *Particle Swarm Optimization*), com uma adaptação no mecanismo de busca local, devido ao universo discreto das soluções (*Hybrid PSO*). Ele também apresentou as vantagens obtidas em relação à aplicação de algoritmos genéticos. No ano seguinte, Tassopoulos & Beligiannis (2012) também se concentraram em uma resolução via PSO, entretanto sem contemplar a questão das preferências dos instrutores. Mais recentemente, Skoullis, Tassopoulos & Beligiannis (2017) propuseram uma sofisticação do algoritmo por meio de um HCSO (*Hybrid Cat Swarm Optimization*).

Focados no problema do HSTP, e, por isso, sem levar em conta eventuais preferências dos instrutores quanto às disciplinas, Saviniec & Constantino (2017) propuseram como resolução uma combinação da técnica de busca local (*Iterated Local Search*) com a de busca em vizinhança variável (*Variable Neighborhood Search*). Já Saviniec, Santos & Costa (2018) tiraram proveito da evolução do processamento paralelo para propor uma metaheurística de processamento paralelo de trajetória única (solução inicial única), focada no ganho de tempo computacional. Já no campo dos problemas UCTP, Shah et. al (2018) apresentaram um modelo de programação multi-objetivo baseado em lógica fuzzy, comparando os resultados obtidos entre uma abordagem por funções de pertinência lineares e outra por funções de pertinências exponenciais.

Aproximando-se do contexto da ANAC, Afolabi et al. (2017) concentram-se no problema específico de alocar os instrutores nas disciplinas, deixando em segundo plano a grade horária, as salas e as opções dos alunos. Para tal, os autores utilizaram o método simplex adaptado ao problema de transporte, com o critério de ponto extremo noroeste, restringindo, portanto, seu uso a problemas de pequena dimensão.

Já Domenech & Lusa (2016) propuseram um MILP para o problema de alocar instrutores nas disciplinas, considerando as preferências dos professores e balanceando suas cargas de trabalho. No artigo é demonstrado que um problema com uma dimensão de até 40 instrutores e 200 disciplinas pode ser resolvido de modo exato (puramente matemático), através do modelo de MILP proposto. Entretanto, o MILP proposto começa a apresentar uma redução drástica de eficiência quando a quantidade de professores ultrapassa a marca dos 50. Vale ressaltar também que, diferentemente do caso da ANAC, o desvio de carga horária é em relação às metas individuais de cada instrutor, e não em relação a um balanceamento entre os instrutores.

2.3 Heurísticas Construtivas

Além das técnicas de programação matemática exata, metaheurísticas, inteligência artificial e métodos multi-agentes colaborativos, existe também uma outra possibilidade de abordagem para um problema de otimização: as heurísticas construtivas.

Heurísticas construtivas são geralmente aplicadas em problemas NP-difícil de grande dimensão, onde a aplicação de métodos quantitativos tornaria o processamento computacional muito pesado, muitas vezes com tempo de espera inviáveis ou até mesmo com possibilidade de estouro de memória. Outra aplicação comum desse tipo de técnica é quando não se tem um *software* de otimização à disposição e/ou recursos computacionais adequados.

Na literatura é possível encontrar diversos artigos sobre o tema. Um problema bastante atacado por meio de heurísticas construtivas é o problema NP-difícil denominado de *flow shop scheduling*, que consiste no problema de alocar um conjunto de recursos (ex: máquinas) para executar uma série de tarefas, cujas as operações internas de cada uma dessas tarefas possuem uma ordem pré-definida e rígida de processamento. Tal alocação deve ter como objetivos a minimização do tempo de ociosidade das máquinas (reduzindo assim o tempo total de conclusão de todas as tarefas – produtos finais), a minimização do tempo de espera das operações por recurso livre (reduzindo assim o tempo e tamanho dos estoques intermediários) e a minimização do tempo de produção de cada produto individualmente. Ou seja, no final o que se almeja é definir o cronograma de utilização de cada recurso de forma a atingir esse objetivo multicritério de minimização de tempos. Tal problema é considerado um caso particular do *job shop scheduling*, no qual não há ordem estabelecida para o processamento das operações de uma tarefa, podendo assim ser abstraído para o caso onde todas as operações equivaleriam a tarefas de operação única.

No âmbito dos problemas de *flow shop scheduling*, Abedinnia, Glock & Brill (2016) fizeram um levantamento de trabalhos nesse campo, com trabalhos utilizando tanto heurística única quanto uma combinação de heurísticas simples, em que cada uma é especializada em uma parte específica do problema. No caso do uso de mais de uma heurística para resolver os três blocos desse tipo de problema (desenvolvimento de indexadores, construção de uma solução e melhoramento da solução), já se pode classificar a heurística como heurística composta. A maior parte das soluções estudadas pelos autores divide a heurística construtiva em duas fases: priorização das tarefas, seguida da fase de inserção das tarefas nos cronogramas dos recursos. Os autores propuseram uma série de melhoramentos nas heurísticas mais popularmente utilizadas até então no problema de *flow shop scheduling*, resultando em um total de 103 heurísticas simples, o que proporcionou melhores resultados em relação aos trabalhos por eles estudados, e sem perda de eficiência computacional (tempo de processamento).

Nagano, Miyata & Araújo (2015) também propuseram uma heurística construtiva para um tipo particular desse problema, onde existe a restrição adicional das tarefas não poderem ter seu fluxo de operações interrompido, ou seja, com tempo de espera igual a zero. Alguns processos industriais que envolvem, por exemplo, operações com o produto intermediário a temperatura e viscosidade específicas, não pode esperar por máquinas livres. Nesse caso, a operação seguinte precisa ser imediatamente executada, assim que a operação anterior se encerra. Tais tipos de problema são denominados de *No-Wait Flow Shop Problem* (NWFSP). Além disso, filosofias de produção como *just in time* (JIT) e inventários intermediário e final zero, também entram na gama de problemas do tipo NWFSP. Nesse contexto, e sem desprezar o tempo de configuração das máquinas para atender uma nova operação (*setup time*), os autores propuseram uma heurística construtiva que se divide em 4 quadrantes, batizada de QUARTS. O trabalho faz uma comparação entre a técnica proposta com técnicas apresentadas por outros autores, nomeadamente BAH, BIH, TRIPS e IGLS (*Iterated Greedy with Local Search*), essa última sendo uma metaheurística. Ao final a metaheurística IGLS continuou sendo a técnica de melhor resultado, com a técnica de QUARTS superando as demais heurísticas construtivas analisadas.

Fernandez-Viagas & Framinan (2017) também apresentaram uma solução para os problemas de *flow shop scheduling*, através da técnica de *beam-search-based constructive heuristic*, heurística construtiva baseada numa derivação da já conhecida técnica de *branch-and-bound*, onde apenas um conjunto promissor de nós são mantidos a cada iteração. Eles compararam sua proposta de heurística com duas metaheurísticas reconhecidamente eficientes, conhecidas como MRSILS (*MRS Iterated Local Search*) e IGRIS (*Iterated Greedy RI Search*), e obtiveram melhores performances, inclusive encontrando melhores soluções para 35 dos 120 testes feitos, e sempre com muito menos esforço computacional.

Kahar & Kendall (2010) utilizaram uma heurística construtiva para um dos problemas de otimização de grade horária de institutos de ensino, a programação de calendário de exames (*examination timetabling problems*), tema inclusive mencionado no início desse capítulo. Nesse trabalho, o objetivo foi oferecer uma solução melhor do que o software proprietário utilizado na época pela universidade sob estudo, conseguindo o atendimento de 100% das restrições rígidas, algo que o sistema proprietário não alcançava.

Já Hanafi & Kozan (2014) desenvolveram uma heurística construtiva híbrida, aplicando a técnica de busca de recozimento simulado para problemas de grandes dimensões de escala (*Crew Scheduling Problem - CSP*) de maquinistas de linhas de trem. Afshar-Nadjafi & Afshar-Nadjafi (2017) aplicaram técnicas de heurísticas construtivas para o problema de rotas de veículos de transporte de carga (*Vehicle Routing Problem – VRP*), com multi-depósitos de mercadorias, prazos de entrega, e frota heterogênea e limitada, tendo como objetivo a minimização do custo.

2.4 Considerações Finais

Como pôde se visto, o problema de otimização de grade horária de instituições de ensino está longe de ter uma solução única. Para os próximos anos há uma grande expectativa de surgimento de novas técnicas, cada vez mais sofisticadas e híbridas, especialmente para lidar com as situações de grande escala. Até agora, tudo que surgiu nesse campo não alcançou, e provavelmente nunca alcance, a unanimidade, não existindo, portanto, o melhor método ou o método certo a ser aplicado. Muitos autores estão na busca de técnicas generalistas, procurando abranger cada vez mais contextos diferentes, porém sempre com limitações.

A depender do real contexto do problema, ou seja, considerando a realidade do interessado na solução, que pode não ter sistema ou recursos computacionais adequados, ou ainda para o caso de problemas NP-difícil de alta complexidade e dimensão, técnicas de heurísticas construtivas se mostram eficazes na busca por soluções suficientemente boas, com a utilização de pouco esforço computacional e sem a necessidade de um *software* de otimização profissional.

3 Projeto de Escala de Inspetores da ANAC

3.1 Mapeamento Detalhado do Problema

3.1.1 Volume de Inspeções e Prazo de Cumprimento

Conforme descrito brevemente na *seção 1.2*, a ANAC, particularmente a SPO, enfrenta uma série de dificuldades na tarefa de montar as equipes de inspeção para suas atividades externas de certificação e fiscalização. Um primeiro complicador é o volume de atividades. Só no ano de 2017 foram 915 inspeções de fiscalização, 937 inspeções de certificação e 4188 inspeções de exame de proficiência técnica. Com tal carga de inspeções e com um universo de 93 inspetores, com as mais diversas qualificações, o processo de otimizar a alocação mostra-se uma tarefa nada trivial.

Para fins de esclarecimentos, Exame de Proficiência Técnica, informalmente conhecida como “*cheque*”, é uma inspeção de certificação bastante singular em relação às demais, visto se tratar de certificação de pessoa ao invés de empresa. Tal peculiaridade acaba por exigir um tratamento diferenciado dentro da ANAC. Mesmo se tratando de uma atividade de certificação, essa atividade tem uma dinâmica muito distinta das demais, influenciando inclusive na organização interna da SPO, que conta com gerências que lidam exclusivamente com o processo de certificação de pessoas (**Figura 2**).

O exame de proficiência técnica é parte integrante do processo de certificação de pessoal da aviação civil, consistindo na fase de verificação das habilidades práticas do profissional da aviação (piloto, comissário de voo, despachante operacional de voo e mecânico de voo). No caso do piloto, que corresponde a mais de 95% da demanda, essa atividade inclui o acompanhamento em voo do piloto por um inspetor devidamente qualificado, inclusive em relação ao tipo de aeronave. Esses exames são aplicados tanto para a aquisição de uma nova licença e/ou habilitação, quanto para renovar habilitações anteriormente obtidas. Como não é objetivo desse trabalho um maior entendimento dos tipos de licenças e habilitações existentes, e tal conhecimento não se torna relevante na busca da solução pretendida, o presente estudo tratou as licenças e habilitações como outra qualificação qualquer, constando tanto na lista de pré-requisitos das atividades de *cheque*, quanto na lista de qualificações dos inspetores que as possuem.

Feito esse adendo, além do volume de inspeções por ano ser relativamente grande, cada tipo possui um prazo diferente de cumprimento, o que, a princípio, é mais um complicador para o problema. Entretanto, para simplificar o mecanismo de alocação pretendido, sem que isso acarrete em perda na qualidade da solução, conseguiu-se desprezar o requisito de prazo da seguinte maneira:

- (1) Para as inspeções programadas, que são de interesse exclusivo da ANAC, não há nenhum compromisso de prazo com o regulado (regulado é o nome dado a qualquer empresa ou pessoa sob regulação da agência). Por outro lado, a

realização de todas as atividades programadas, que constam no PTA, é um compromisso que as superintendências da ANAC assumem todo ano com a diretoria, configurando uma importante parcela dos esforços da agência em garantir a segurança operacional do sistema aéreo brasileiro. O planejamento dessas atividades, que é aprovado ainda no ano anterior, tem seu cronograma detalhado apenas a nível mensal. Atualmente, a SPO define as equipes dessas inspeções sem muita antecedência, já que os gestores costumam montar essas equipes concomitantemente com as equipes das inspeções demandadas que se encontram em aberto, de forma a buscar uma distribuição equilibrada de carga de trabalho entre os inspetores. Tendo isso em vista, e desobrigando-se da prática corrente de estabelecer equipes de inspeções programadas e demandadas de forma simultânea, a solução de alocação pretendida, vista sob a ótica das inspeções programadas, precisa somente definir as equipes com antecedência suficiente, levando-se em consideração apenas o mês no qual cada inspeção está agendada;

- (2) Para as inspeções demandadas, que na grande maioria dos casos também são de interesse do regulado, e que, portanto, têm prazo de cumprimento estabelecido a partir da solicitação feita à ANAC, decidiu-se por definir a equipe de inspeção o mais breve possível, independentemente do prazo padrão definido para o tipo de inspeção em questão. Por outro lado, não seria razoável executar o mecanismo de alocação de imediato, logo após a solicitação, visto o volume diário de solicitações existentes (principalmente *cheque*, que chega à ordem da dezena) e o ganho em otimização que se deixaria de alcançar caso não se pudesse acumular várias inspeções antes de se rodar o algoritmo. Em contrapartida, não se pode também esperar demais para definir as equipes, sob risco de descumprimento de prazo para as atividades de prazos mais curtos.

Considerando então os pontos acima levantados, mais a regra de antecedência mínima de 10 dias para o pedido de diárias e passagens para os inspetores (regra interna da agência para que haja tempo hábil para o pagamento das diárias antes da viagem, somado ao esforço de se evitar compra de passagens aéreas a preços muito altos), e ainda considerando que o menor prazo de cumprimento existente entre os diferentes tipos de inspeção sob demanda é de 30 dias, convencionou-se investigar duas possibilidades de frequência para rodar o mecanismo de alocação para o caso das inspeções demandadas: diária e semanal.

Por fim, é importante salientar que a ANAC também realiza inspeções fora do Brasil. A agência também tem como atribuição certificar e fiscalizar regulados brasileiros que atuam no exterior, assim como empresas estrangeiras que ministram treinamento para aeronautas brasileiros. Dentro desse universo estão, por exemplo, as empresas aéreas brasileiras que têm bases fora do país e os centros de treinamentos estrangeiros que qualificam aeronautas oriundos do Brasil. Além disso, ainda há o caso dos pilotos brasileiros que solicitam realização de *cheque* em simuladores localizados no exterior, levando a ANAC a enviar um inspetor para a aplicação do exame. Entretanto,

considerando que essas inspeções internacionais têm baixo volume e que só aparecem para alguns tipos específicos de inspeção, optou-se por excluí-las do escopo do problema em estudo. Desse modo, apenas as inspeções dentro do território brasileiro foram consideradas.

3.1.2 Atividades Paralelas

Um terceiro fator relevante são as atividades paralelas dos inspetores, que têm outras incumbências laborais na agência. Isso, a princípio, torna a gestão dos calendários desses inspetores muito difícil. Consequentemente, usar os calendários como variáveis de entrada no processo decisor traria muita complexidade ao problema. Para contornar esse obstáculo, definiu-se a seguinte abordagem: aproveitou-se o critério de brevidade adotado na *seção 3.1.1*, que conseguiu descartar o requisito de prazo, e acrescentou-se novos parâmetros, conforme descrito a seguir:

- (1) Como as equipes serão definidas com antecedência suficiente, principalmente no caso das inspeções programadas, o calendário de disponibilidade diária dos inspetores foi ignorado. No lugar disso, para cada inspetor, foi registrado previamente a quantidade máxima de dias de inspeção que cada um pode realizar em cada mês. Dessa maneira, o algoritmo que definirá as equipes só enxergará essa última restrição e as inspeções que já estão definidas para cada inspetor dentro do mês em questão. O algoritmo, portanto, não definirá as datas das inspeções. Isso será de responsabilidade da equipe, que terá antecedência suficiente para conciliar os calendários de seus membros e agendar a inspeção respeitando-se o seu prazo de cumprimento. Por fim, a quantidade de dias de inspeção que cada inspetor poderá fazer por mês já levará em conta suas metas individuais e seus respectivos períodos de férias.

3.1.3 Qualificações dos Inspetores vs Qualificações exigidas por Tipo de Inspeção

Um quarto fator complicador, já mencionado previamente na *seção 1.2*, é a pluralidade de qualificações dos inspetores e as diferentes qualificações exigidas por cada tipo de inspeção. Nenhum inspetor está qualificado para fazer tudo. No caso dos *cheques*, o universo de inspetores se reduz ainda mais, já que, além de piloto, o inspetor precisa estar qualificado na família da aeronave onde o *cheque* será realizado. Além disso, quando um inspetor muda de gerência, ele passa a executar as inspeções sob responsabilidade desse novo setor, deixando, na maioria dos casos, de participar das inspeções nas quais costumava atuar, mesmo que ainda continue devidamente qualificado. Em situação oposta, há casos em que um inspetor, que nunca foi lotado em um determinado setor,

costuma ser cedido para atuar em algumas inspeções dessa outra área, por se encontrar devidamente qualificado e motivado para tal.

Para então englobar toda essa gama de situações e exceções, não esquecendo do casamento entre as qualificações exigidas de cada atividade com as qualificações de cada inspetor, e ainda aproveitando para se incluir as metas individuais de cada inspetor, optou-se por abordar a questão da seguinte maneira:

- (1) Em primeiro lugar, tornou-se as qualificações algo transparente para o problema. Para tal, fez-se uma fusão entre as qualificações exigidas por cada tipo de inspeção e as qualificações de cada inspetor, criando-se uma tabela que informa, para cada inspetor, que atividades ele está apto a realizar;
- (2) Para tratar das atividades que de fato o inspetor realiza no momento, contemplando inclusive todas as exceções recém descritas, criou-se uma tabela informando que atividades estão atribuídas a cada inspetor, independentemente do motivo e de estarem ou não atualmente qualificados;
- (3) Mais duas tabelas foram criadas com as metas individuais de cada inspetor. Uma para as inspeções programadas (restrição rígida) e outra para as inspeções demandadas (restrição flexível, já que não se sabe que inspeções surgirão no decorrer do ano). Essas tabelas, preenchidas pelo gestor, definem a quantidade mínima de inspeções que cada inspetor deve realizar para cada tipo de inspeção existente, tabelas essas que admitem o preenchimento com zero. Vale ressaltar que os valores preenchidos se referem a quantidade mínima. Não há limite superior;
- (4) Das tabelas mencionadas em (1) e (2) criou-se uma nova tabela, por meio de uma operação de “E” lógico. Tal tabela representa então todos os tipos de inspeções que cada inspetor está simultaneamente capacitado e incumbido de realizar – *Anexo C*. Com essa tabela, não há mais, portanto, necessidade de lidar com as duas tabelas que lhe deram origem.

Desse modo, procurou-se ao máximo enxugar e padronizar os dados antes de serem utilizados como entradas no algoritmo de alocação. Toda questão de qualificação será então transparente ao processamento, que já receberá uma tabela booleana com as atividades que cada inspetor está designado e qualificado para realizar, além de uma segunda tabela com as metas individuais de cada inspetor.

3.1.4 Distribuição Equilibrada de Carga de Trabalho

Para se manter uma distribuição equilibrada da carga de trabalho entre os inspetores, arbitrou-se por não permitir, a qualquer tempo, que o total de dias de inspeção atribuídos a um inspetor ultrapasse em **10 (dez)** a quantidade de dias de inspeção já atribuídos a cada

um dos demais inspetores. No entanto, devido à carga de inspeções sob responsabilidade de uma gerência variar em relação às outras, além da particularidade das atividades de *cheques*, que são realizadas somente por inspetores pilotos, esse equilíbrio geral seria impossível de alcançar, além de se mostrar inadequado.

Almejando-se então um equilíbrio mais coerente, resolveu-se, para esse critério de quantidade de dias de inspeção em específico, dividir os inspetores em grupos mutuamente excludentes (um inspetor só pode pertencer a exatamente um único grupo). Tais grupos foram definidos de acordo com as lotações dos inspetores, e se eles são ou não pilotos, gerando um total de 20 grupos – *Anexo D*. Dessa maneira, com exceção dos 2 últimos grupos, o limite de diferença de 10 (dez) dias foi aplicado separadamente a cada grupo, tornando assim a solução muito mais plausível e apropriada.

Existe uma peculiaridade em relação aos 2 últimos grupos, denominados de MIGR-INS e MIGR-PIL. Tratam-se de inspetores que pertencem a outras superintendências da ANAC, mas que se encontram disponíveis para realizar inspeções da SPO, a depender da qualificação de cada um. Por esse motivo, e por serem utilizados majoritariamente para suprir inspeções ainda sem equipes totalmente definidas, tais inspetores foram enquadrados nesses dois grupos, grupos esses que só possuem uma restrição, relacionada ao limite máximo de carga de trabalho mensal. Portanto, eles não possuem metas anuais e nem limite mínimo de carga de trabalho mensal. Também não se aplicam a esses inspetores as restrições de equilíbrio de carga de trabalho e equilíbrio de satisfação. Já quanto aos objetivos de minimizar o custo e maximizar a satisfação, eles são tratados da mesma forma que os demais inspetores.

Outra vantagem de dividir os inspetores em grupos é que os gestores podem definir as metas de seus inspetores sem se preocupar com as metas definidas pelos outros gestores, já que cada grupo estará subordinado a somente um gestor. É importante destacar, porém, que o inspetor de um grupo continua podendo realizar qualquer inspeção de outro grupo, desde que devidamente qualificado e incumbido para tal (*Anexo C*).

3.1.5 Custo vs Localização Geográfica dos Inspetores

Um sexto preceito que influencia na montagem das equipes é o custo com diárias e passagens. Tal custo está diretamente relacionado com a localização geográfica de cada inspetor e a antecedência da compra das passagens aéreas.

Majoritariamente, os inspetores estão lotados em 6 (seis) cidades brasileiras: Brasília – DF, Porto Alegre – RS, Recife – PE, Rio de Janeiro – RJ, São José dos Campos – SP e São Paulo – SP. Para fins práticos, devido à proximidade entre São Paulo e São José dos Campos, e das duas cidades terem à disposição praticamente os mesmos aeroportos, o

presente estudo tratou essas duas cidades como uma só, no caso São Paulo. Essas 5 (cinco) cidades são referidas no decorrer desse documento sob a nomenclatura de cidades-sede.

Para levantar os custos de viagens, usou-se os deslocamentos ocorridas no ano de 2015 dentro da SPO. Foi considerado o gasto médio com passagens para se deslocar de cada uma das 5 (cinco) cidades-sede para as cidades de destino onde houve pelo menos uma inspeção no ano em análise. Para os casos em que o deslocamento entre uma certa cidade-sede A e o destino não existiu, foi considerado como custo parametrizado o menor valor encontrado do seguinte cálculo: o custo do deslocamento entre cada cidade-sede e o destino final (se existiu), somado ao custo para se deslocar da cidade-sede A para a cidade-sede em questão. Para se ter ideia da dimensão dessa variável, no ano de 2017 foram visitadas um total de 207 cidades. O *Anexo E* apresenta uma pequena amostra dessa tabela parametrizada de custos de passagens aéreas.

No entanto, como o custo com passagens aéreas para boa parte das cidades de um mesmo estado da federação brasileira é o mesmo, visto partilharem um mesmo aeroporto, e pensando em uma conveniente redução de esforço computacional, optou-se por tratar os destinos como estados, ao invés de cidades. Para cada estado, portanto, definiu-se o custo para se deslocar até ele como a média ponderada dos custos para se deslocar para as cidades do seu território, com peso equivalendo ao número de vezes que houve inspeção em determinada cidade no ano. Com isso, reduziu-se as possibilidades de destinos para 27, correspondente ao número de unidades federativas (UF) do Brasil. Conforme apresentado na *seção 3.2.1*, tal simplificação também foi de grande utilidade para a coleta das preferências dos inspetores.

Em relação ao custo com diárias, esse depende somente da cidade de destino e da quantidade de dias que o inspetor fica fora da sua base. Ou seja, independe de quem seja o inspetor e da sua cidade de origem, desde que essa origem não afete o número total de dias da viagem. Na grande maioria dos casos, essa duração não se altera quando se considera diferentes cidades-sede como origem. Somente em algumas situações se consegue ganhar 01 (um) dia, quando a deslocação é muito curta. Entretanto, levando-se em conta que, além de não ser o padrão, essa segunda situação é evidenciada também por um custo de deslocamento bem menor comparado as outras cidades-sede, chegou-se à conclusão de que considerar o gasto com diárias não traria nenhum benefício relevante à decisão. Portanto, apenas os custos com passagens aéreas foram utilizados para tratar da questão do custo das inspeções.

Considerando ainda que a proposta desse estudo tem como focos a qualidade de vida no trabalho e a redução de gastos, o custo foi encarado como uma restrição parametrizada. Tal abordagem garantiu que o modelo também tivesse como objetivo minimizar o custo total, através de sucessivas reduções do valor limite permitido. O custo máximo aceitável pela SPO foi o ponto de partida. Depois esse limite é reduzido sucessivas vezes enquanto não compromete as demais restrições do problema.

3.2 Objetivo

Depois de elucidadas as restrições funcionais do problema de alocação de inspetores da SPO, entra-se agora no cerne do problema sob estudo: A satisfação dos inspetores, ou, mais especificamente, a “satisfação homogênea” dos inspetores.

Por se tratarem de pessoas, a ideia puramente racional de se buscar a maior satisfação factível para cada um não se mostra a melhor solução para o problema. Mesmo que a satisfação de um certo inspetor esteja em um bom patamar, ou até mesmo no seu maior valor possível, caso ele se compare aos demais e constate que a maioria está comparativamente mais satisfeito que ele, instintivamente ele passará a ficar insatisfeito, não importando o quão bom seja o valor da sua satisfação.

Diante disso, mais importante do que a satisfação individual, é assegurar que todas elas assumam valores próximos. Num primeiro momento, pode-se pensar em garantir isso minimizando o desvio padrão. Todavia, temos novamente a natureza humana nos impedindo de seguir em frente com tal abordagem. Mesmo com um desvio padrão baixo, a eventual ocorrência de pelo menos um “ponto fora da curva” já seria suficiente para a solução não ser bem aceita. Tanto para mais, o que causaria uma insatisfação coletiva, quanto para menos, o que causaria a insatisfação do(s) indivíduo(s) fora do padrão. Portanto, ao invés de minimizar o desvio padrão, uma melhor escolha é minimizar a maior diferença entre essas satisfações.

Por outro lado, não seria razoável somente buscar essa homogeneidade sem se preocupar com o valor médio da satisfação. Por isso, nada mais justo do que a função objetivo do problema levar em conta tanto a minimização da diferença entre a satisfação máxima e a satisfação mínima quanto a maximização da satisfação média. Poder-se-ia, assim, optar por um modelo de decisão multicritério ou então por uma função objetivo fracionária (média dividida por desvio). Entretanto, para o caso em estudo, não faz muito sentido buscar a minimização do desvio, e sim mantê-lo dentro de um nível aceitável. Ter um desvio muito abaixo do tolerável não traz nenhum benefício prático para o problema, mas pode sacrificar o valor da média. Portanto, uma melhor abordagem para a questão é retirar o desvio da função objetivo e transformá-lo em uma restrição de limite superior, cujo valor seja razoável e facilmente aceito pelos inspetores. Considerando que a satisfação é expressa em forma de percentagem (0 a 100%), julgou-se que 10% seria um valor coerente para o máximo desvio aceito entre dois inspetores, valor esse que pode ser alterado futuramente sem nenhum prejuízo à modelagem do problema.

3.2.1 Preferência dos inspetores

Com a função objetivo definida, o próximo passo foi definir o que é satisfação para os inspetores. Poder-se-ia ter tratado de diversos parâmetros, inclusive subjetivos e de difícil mensuração. Entretanto, para tornar o problema o mais objetivo possível, escolheu-se trabalhar somente com variáveis que pudessem ser diretamente associadas ao problema, de fácil escalonamento, e que fossem perfeitamente controláveis por um algoritmo de decisão. Diante disso, dois critérios foram definidos para medir a satisfação dos inspetores, a saber:

- (1) Preferência dos inspetores por tipo de inspeção;
- (2) Preferência dos inspetores por destino.

Especificamente em relação ao destino, em um primeiro momento pensou-se em termos de cidades, já que todas as inspeções têm endereço definido. Entretanto, como o universo de cidades distintas gira em torno de 200 por ano, viu-se que isso tornaria o processo de julgamento de preferência algo muito confuso e extenso para os inspetores. Diante desse obstáculo, decidiu-se então por simplificar a preferência de destino a nível dos estados da federação do Brasil. Com isso, a lista foi reduzida para 27 destinos, sem causar grandes perdas na aferição das preferências dos inspetores em relação aos destinos existentes.

Com os critérios de preferência devidamente definidos, o passo seguinte foi definir que método de aferição seria usado e como esses parâmetros seriam combinados. Como se trata de apenas dois critérios bastante diretos e de baixa complexidade, não se viu vantagem em adotar uma metodologia sofisticada para tal, descartando-se assim abordagens como TOPSIS, Lógica Fuzzy, AHP, PROMETHE ou ELECTRE.

Das possibilidades restantes, duas mostraram-se bastante adequadas: MAUT (Teoria da Utilidade Multiatributo) e Ordenamento Simples (*Ranking*), com ambas as possibilidades tendo como último passo a unificação das preferências através da média ponderada de cada critério (no caso, tipo de inspeção e destino). Conforme discutido por McClure & Well (1987) para o problema de alocação de professores em disciplinas, caso adote-se o MAUT, alguns problemas indesejáveis podem surgir, como:

- (1) Dificuldade dos inspetores em definir que número (peso) irão atribuir a cada opção, que os levaria a significativos esforços para equacionar suas escolhas, além de prováveis enganos na diferenciação entre as opções;
- (2) Por se tratarem de colaboradores, e não de clientes, não seria plausível permitir preenchimentos extremados, como, por exemplo, preferência máxima para somente uma ou algumas poucas opções e zero para as demais. A agência acabaria por não contar com o inspetor para diversas inspeções nas quais o mesmo se encontra perfeitamente apto a atuar;
- (3) Maior possibilidade de preenchimento propositalmente divergente da preferência real, com o intuito de se obter alguma vantagem no resultado final, já que, por

trabalharem juntos, os inspetores naturalmente têm uma noção das preferências dos colegas.

Para então tornar o processo de escolha simples e direto, para evitar contradições e posteriores análises de consistência, para evitar preenchimentos extremados, para mitigar tentativas de preenchimentos “estratégicos”, e para ainda melhorar a percepção de que as preferências estão sendo atendidas de maneira justa, optou-se pelo método do ordenamento simples (*ranking*). Portanto, tanto para o tipo de inspeção quanto para o destino, preencheu-se, inspetor a inspetor, seus rankings de preferência em ordem decrescente.

Certamente a simplicidade do método traz desvantagens também. Não se tem a possibilidade de opções indiferentes (mesmo grau de preferência), nem a flexibilidade de expressar o quanto uma opção é mais preferível que outra. No entanto, são perdas consideradas aceitáveis e de menor impacto para o problema em estudo quando comparadas as desvantagens supracitadas do método MAUT. Além disso, como os inspetores de um mesmo grupo precisam ter quantidade similares de dias de inspeção, essa distribuição uniforme de preferências facilita os ajustes necessários na busca pela satisfação homogênea, já que todo inspetor terá um grande leque de valores graduais de preferência.

Por outro lado, percebeu-se que a frequência de atividades em cada unidade federativa do Brasil difere drasticamente, o que poderia causar uma grande dificuldade para o alcance do equilíbrio da satisfação dos inspetores, caso todos os destinos fossem tratados juntos. Por conta disso, decidiu-se por definir 4 grupos distintos de destinos para o ordenamento das preferências dos inspetores, a saber:

- (1) Destinos com mais de 100 inspeções programadas para o ano;
- (2) Destinos entre 50 e 100 inspeções programadas para o ano;
- (3) Destinos entre 5 e 50 inspeções programadas para o ano;
- (4) Destinos com até 5 inspeções programadas para o ano.

Por fim, para que a preferência resultante de fato representasse os anseios dos inspetores, definiu-se que o peso associado a cada um dos 2 (dois) critérios fosse uma escolha pessoal de cada inspetor. Além disso, como a preferência é algo volátil e os tipos de inspeção associadas a cada inspetor mudam com o tempo, as tabelas de preferências serão novamente preenchidas a cada ano.

3.2.2 Agrupamento dos inspetores

Especificamente para o problema em análise, uma situação muito similar à discutida na *seção 3.1.4* acontece também na busca pela satisfação homogênea dos envolvidos. Analisando-se o perfil de cada inspetor no que se refere aos tipos de inspeção a eles

incumbidos, nota-se uma forte correlação entre esse perfil e a lotação de cada um. Nesse cenário, percebe-se então que os inspetores quase sempre concorrem com um mesmo conjunto de colegas, e não com todos eles. Por isso, buscar a satisfação homogênea para cada um desses conjuntos se mostra uma melhor solução do que colocar todos os inspetores em um mesmo “saco”.

Para exemplificar e justificar o que foi dito no parágrafo anterior, basta imaginar um caso hipotético em que seja possível atingir uma satisfação de 80% para um subconjunto *A* de inspetores, mas que a satisfação máxima de um subconjunto *B* não ultrapasse 60%. Como esses subconjuntos quase nunca entram em disputa por inspeções, já que geralmente não há muitos inspetores habilitados e incumbidos para realizar tipos de inspeção estranhos ao seu subconjunto, caso imponha-se uma satisfação homogênea unificada, na melhor das hipóteses, alcançar-se-ia o patamar de 60%. Isso obrigaria o subconjunto *A* a abrir mão de no mínimo 20% de satisfação sem nenhum tipo de ganho para o coletivo. Ademais, como cada subconjunto está subordinado a uma gerência diferente, é perfeitamente defensável e de fácil aceitação que a busca pela homogeneidade seja orientada a cada subconjunto, ao invés de considerar a satisfação de todos os inspetores simultaneamente.

Tais subconjuntos são praticamente um espelho dos grupos criados na *seção 3.1.4 (Anexo D)*, que tratou da distribuição equilibrada de carga de trabalho, com uma única diferença: Cada grupo e seu correspondente para os inspetores pilotos são concatenados e tratados como um só subconjunto. Ou seja, como esses dois grupos pertencem a uma mesma gerência, o ideal é buscar a homogeneidade da satisfação para ambos simultaneamente, mesmo um grupo possuindo uma carga média de trabalho diferente do outro.

É importante salientar que, assim como já mencionado na *seção 3.1.4*, o último subconjunto, denominado MIGR, não possui meta de equilíbrio de satisfação.

Assim como no caso da meta de equilíbrio de carga de trabalho (*seção 3.1.4*), é importante destacar que o inspetor de um subconjunto continua podendo realizar qualquer inspeção de outro subconjunto, desde que devidamente qualificado e incumbido para tal (*Anexo C*).

4 Estrutura dos Dados

Conforme comentado na *seção 1.2*, as superintendências da ANAC criaram ferramentas informáticas suplementares com o intuito tanto de apoiar a rotina de trabalho de seus colaboradores, quanto de registrar informações adicionais além das já disponíveis nos sistemas corporativos da organização. No caso particular da SPO, tais ferramentas, além de permitirem análises estatísticas, de desempenho, de identificação de gargalos e de custo, foram também capazes de fornecer todos os dados necessários para a presente pesquisa. Nos parágrafos que se seguem, cada sistema foi descrito de forma resumida, juntamente com os dados que cada um deles proporcionou ao estudo.

4.1 SICOS

SICOS (Sistema de Cadastro de Ordem de Serviço) é um sistema computacional web (servidor – cliente) utilizado pelos colaboradores da SPO para o cadastro de todas as atividades realizadas fora das instalações físicas da ANAC. O sistema foi desenvolvido na linguagem PHP e seu banco de dados é em MySQL.

Basicamente, o SICOS funciona do seguinte modo: após o colaborador cadastrar todas as informações da sua ordem de serviço, que contempla uma ou mais atividades externas (não necessariamente inspeções), e um ou mais colaboradores, o superior imediato aprova tal ordem (que pode ser na própria cidade de lotação do(s) colaborador(es) ou exigir deslocamentos com ou sem pernoites). Só então a ordem de serviço é encaminhada ao sistema oficial do governo brasileiro, para solicitação de eventual compra de passagens e pagamento de diárias.

Da forma como as gerências da SPO foram divididas, normalmente os inspetores qualificados para um determinado grupo de inspeções estão diretamente subordinados a um mesmo gestor. Todavia, existe uma exceção à regra: as atividades de exame de proficiência técnica. Conforme detalhado na *seção 4.2*, essas atividades são realizadas por inspetores não subordinados ao setor em questão (Coordenação de Escala), o que torna a gestão desses exames algo substancialmente mais complexo do que a gestão dos outros tipos de inspeção.

Tendo em vista que praticamente todos os campos a serem preenchidos no SICOS são de conteúdo padronizado (apenas campos complementares opcionais são de texto livre), seu banco de dados pôde ser diretamente utilizado no presente estudo, sem maiores tratamentos prévios de dados.

Dentre as informações armazenadas no SICOS para cada ordem de serviço, várias delas foram utilizadas no presente estudo. Para cada atividade de inspeção registrada no sistema, pôde-se extrair os seguintes dados: o(s) inspetor(es) vinculado(s) à inspeção, o tipo de

inspeção, se foi programada ou demandada, a data de solicitação (para o caso das inspeções demandadas), local de realização e deslocamentos necessárias.

O *Anexo F* apresenta o total de atividades de inspeção programadas que ocorreram no ano de 2017, fragmentada por tipo de inspeção.

4.2 SISCALA (32EP)

SISCALA (Sistema de eSCALA) é um sistema computacional web (servidor – cliente) programado em linguagem PHP e com banco de dados em MySQL. Foi desenvolvido para substituir o 32EP, uma ferramenta computacional implementada em Microsoft Access e que faz toda a gestão de escala de inspetores para atender especificamente as demandas de *cheque* de pessoal da aviação civil, nomeadamente, pilotos, comissários de voo, mecânicos de voo e despachantes operacionais de voo. No caso de mecânico de manutenção aeronáutica, apesar do processo de certificação ser conduzido pela SPO, a fase de exame de proficiência técnica é realizada pela SAR, motivo pelo qual essa classe de profissional não se encontra contemplada nos referidos sistemas.

O SISCALA está atualmente em fase de implementação e, por essa razão, todos os dados disponíveis até 2017 são oriundos do 32EP. Os dados em Access foram convertidos para MySQL e repassados pela SPO para o presente estudo.

Em suma, o 32EP funciona do seguinte modo: o indivíduo que pretende obter ou renovar uma habilitação, ou ainda obter uma licença, preenche um formulário on-line com sua requisição. Tal requisição é internalizada no 32EP, gerando uma solicitação de *cheque* na ferramenta. Diariamente, colaboradores que trabalham nesse setor da SPO analisam as solicitações em aberto, procurando pedidos similares ou em cidades próximas, para agrupá-las numa mesma ordem de serviço (todo esse processo é feito de forma manual, sem nenhuma inteligência computacional dando suporte, contando apenas com a experiência dos colaboradores).

Com a ordem de serviço criada, o colaborador busca algum inspetor da ANAC que possua as qualificações mínimas exigidas para conduzir as avaliações práticas. Esse é o principal motivo pelo qual, no passo anterior, busca-se juntar pedidos similares numa mesma ordem de serviço. Esse inspetor é então convocado pelo 32EP via e-mail. A ferramenta aguarda a confirmação ou recusa do inspetor, que por trabalhar originalmente em outro setor da ANAC, pode encontrar-se temporariamente impedido de ausentar-se do escritório. No caso de recusa, o colaborador do setor de escala vai em busca de um novo inspetor qualificado. Quando a atividade é aceita por um inspetor, esse último agenda o período dos *cheques* com os regulados e realiza as avaliações práticas previstas.

É importante destacar que a ANAC não é a única a promover exames de proficiência técnica no Brasil. Existe também a figura do examinador credenciado, profissional não pertencente ao quadro da ANAC, mas credenciado pela agência para realizar atividades

de *cheque*. Existem, por exemplo, examinadores credenciados nas escolas de aviação e nas empresas aéreas. Todavia, como a ANAC não cobra taxa por esse serviço e devido à imensa quantidade de pilotos na aviação geral brasileira, uma grande quantidade de *cheques* é anualmente conduzida pela agência. Essa atividade inclusive correspondeu por cerca de 40% das viagens da SPO no ano de 2015. Os exames dos pilotos correspondem por quase a totalidade dos *cheques*. Comissários de voo, mecânicos de voo e despachantes operacionais de voo respondem por uma fatia substancialmente menor, em torno de 5% do total. Por fim, a ANAC se compromete a realizar o exame em até 60 dias após o pedido do regulado.

Por se tratar de uma ferramenta Access, e por terem sido feitas inúmeras atualizações ao longo dos anos, os dados disponibilizados precisaram passar por alguns tratamentos e padronizações antes de serem utilizados nesse estudo.

Dentre as informações armazenadas no 32EP, destacam-se as seguintes tabelas:

solicitacoes

Tabela que armazena a solicitação do regulado feita através do formulário on-line de solicitação de *cheque*. Resumidamente, nela constam os dados do indivíduo, suas qualificações atuais, as habilitações (aquisição ou renovação) e/ou licença (aquisição) pretendidas, e o local proposto para o *cheque* (código do aeródromo no caso de piloto *checando* em aeronave ou identificação do simulador, caso contrário). Essa tabela também contém o status atual de cada solicitação: *cadastrada*, *alocada em missão* (já dentro de uma ordem de serviço e aguardando a definição do inspetor), *agendada* (inspetor já designado e *cheque* consequentemente agendado), *vencida* (prazo expirado), *executada* (*cheque* realizado) e *cancelada* (pelo utente ou pela Coordenação de Escala). O *Anexo G* exhibe fragmentos dessa tabela, com os campos considerados relevantes para o estudo em questão.

missoes vs solicitacoes

Tabela que armazena, para cada missão (ordem de serviço) gerada, as solicitações que nela foram agrupadas. Conforme já descrito, as montagens dessas missões são realizadas manualmente pelos colaboradores da Coordenação de Escala, que usam similaridade, prazo e proximidade geográfica como critérios para tal agrupamento. Essa tabela também contém o status atual de cada solicitação dentro da missão: *alocada* ou *desmembrada* (esse último referente ao caso em que o colaborador da Coordenação de Escala desmembra a solicitação da referida missão para alocá-la em uma outra). O *Anexo H* exhibe fragmentos dessa tabela, com os campos considerados relevantes para o estudo em questão.

convocacoes

Tabela que armazena as informações referentes às convocações de inspetores para realização das missões. Essa tabela relaciona cada convocação feita com a respectiva missão, informando o status atual da convocação, que pode ser: *convocada* (aguardando resposta do inspetor convocado), *aceita*, *recusada*, *expirada* (inspetor não se manifestou dentro do prazo) e *cancelada* (quando a convocação é cancelada pela própria Coordenação de Escala). Todas as convocações recusadas, expiradas e canceladas ficam armazenadas nessa mesma tabela. Ou seja, cada nova tentativa é considerada uma nova convocação (novo id) e todas as convocações anteriores sem sucesso ficam registradas com o fim que levaram (recusada, expirada ou cancelada). O *Anexo I* exibe fragmentos dessa tabela, com os campos considerados relevantes para o estudo em questão.

familias vs habilitacoes

Família de habilitações nada mais é que um conjunto de habilitações de aeronaves consideradas similares. Tal informação é de vital importância para o processo de alocação de inspetores para o *cheque*, visto que, quando um inspetor da ANAC possui uma das habilitações da família, ele é considerado apto a *checar* as demais habilitações desse mesmo grupo.

Dentre as informações armazenadas no 32EP para cada missão, algumas delas foram utilizadas como dados de entrada da solução proposta, a saber: data de entrada no sistema de cada solicitação que compõe a missão (ordem de serviço), licenças e habilitações requeridas por cada piloto solicitante e o local proposto pelo solicitante para o *cheque* (código do aeródromo ou simulador). Adicionalmente, fez-se uso também da tabela das famílias de habilitações. Por fim, é importante destacar que, para efeitos da solução pretendida, cada missão, e não cada solicitação, foi considerada como uma única inspeção.

4.3 CAPACITOR

CAPACITOR é um sistema computacional web (servidor – cliente) programado em linguagem PHP e com banco de dados em MySQL. Foi desenvolvido para fazer a gestão das qualificações de todos os inspetores da SPO. Dentro da ferramenta é possível incluir todos os treinamentos realizados pelos colaboradores da SPO, no que diz respeito aos cursos de formação e atualização de inspetores, nas mais diversas áreas de atuação da superintendência. No caso dos inspetores pilotos, comissários de voo, mecânicos de voo e despachantes operacionais de voo, suas licenças e habilitações também são armazenadas.

O CAPACITOR é largamente utilizado pelo setor de capacitação da SPO para gerir quais inspetores precisam renovar seus treinamentos, quais precisam adquirir novas qualificações, em que setor cada colaborador encontra-se atualmente lotado, entre outras coisas voltadas à gestão de capacitação dos recursos humanos da superintendência. Vale

ressaltar que inspetor com treinamento vencido fica impedido de realizar inspeções de certificação e fiscalização na área do treinamento em questão.

Dentre as informações armazenadas no CAPACITOR, algumas delas foram utilizadas como dados de entrada da solução proposta, conforme elencado a seguir: qualificações exigidas por cada tipo de inspeção, qualificações válidas de cada inspetor, lotação de cada inspetor. Esse último dado é importante para se conhecer a localidade do inspetor (custo de deslocação) e as metas individuais atribuídas ao inspetor para cada tipo de inspeção, que variam conforme sua gerência de lotação atual.

4.4 Ferramenta de Acompanhamento do PTA

Trata-se de uma tabela armazenada em Microsoft Sharepoint, contendo o plano anual de inspeções programadas da SPO (PTA – Plano de Trabalho Anual), juntamente com dados elementares de sua execução. Esses últimos sendo preenchidos no decorrer do ano, à medida que as atividades vão sendo realizadas.

Dentre os campos relevantes da tabela do PTA, e que, com exceção do campo mes realizado, são definidos na fase inicial de planejamento (realizado ainda no ano anterior), segue uma breve descrição de cada um deles:

linha

Código de identificação única da atividade do PTA. Caracteriza-se por uma sequência crescente de 4 algarismos, seguidos dos dois últimos algarismos do ano em questão.

cod atividade

Código que identifica qual atividade (inspeção) será executada. Coincide com os códigos listados nos *Anexo A* e *Anexo B*.

cidade

Cidade onde será realizada a atividade em questão (unidade federativa também é informada nesse campo). No caso das inspeções de solo realizadas em aeronaves (aeronaves estacionadas), ao invés da cidade, esse campo é preenchido com o código ICAO do aeródromo (código único universal e internacionalmente aceito para identificar qualquer aeródromo no mundo). Lembrando que com a identificação do aeródromo automaticamente já se conhece a cidade onde ele está localizado.

mes

Campo numérico de 1 a 12 que equivale ao mês previamente definido para a execução da atividade, ou seja, mês que foi definido ainda no ano anterior (planejamento inicial).

mes realizado

Campo numérico de 1 a 12 representando o mês do ano no qual a atividade foi de fato realizada.

4.5 Ferramenta de análise de custos de viagens

Trata-se de um arquivo Microsoft Excel, com macros codificadas em VBA, que se conecta ao sistema corporativo da ANAC para coletar todas as viagens realizadas pelos colaboradores da SPO no ano em decurso, até a data anterior à data da consulta. Após a transferência desses dados, várias macros são executadas para classificar cada viagem. Logo em seguida, vários relatórios e gráficos de análise de execução orçamentária são gerados.

Apesar da vasta gama de análises que essa ferramenta gera, foi de interesse do presente estudo apenas os custos médios associados aos deslocamentos de um inspetor da cidade *A* para a cidade *B* (passagens aéreas).

4.6 Proteção dos Dados

Devido às atividades de inspeções programadas (PTA) não poderem ser compartilhadas com o público, principalmente com os entes passíveis de inspeção, o presente estudo só contou com dados de anos já encerrados, ou seja, até o ano de 2017.

Em relação às atividades de exame de proficiência técnica de pilotos e demais profissionais da aviação, por se tratarem de indivíduos, e conseqüentemente, por respeito às suas privacidades, a SPO aplicou a função criptográfica de *hash* (ou excluiu previamente os campos referentes à identificação dessas pessoas) antes de disponibilizar os dados das suas ferramentas informáticas para o presente estudo. Pensando de forma similar, houve o mesmo tipo de tratamento com os inspetores da SPO, que também tiveram seus dados de identificação previamente criptografados.

Finalmente, para se evitar qualquer publicação indevida de dados, todos os campos que continham informações referentes aos entes regulados também foram criptografados antes da disponibilização das bases de dados.

5 Modelagem Matemática da Escala de Inspetores

5.1 Cálculo do Coeficiente de Preferência dos Inspetores

Conforme já mencionado na *seção 3.2.1*, procurou-se simplificar ao máximo os parâmetros adotados para a definição das preferências dos inspetores. Evitou-se critérios muito subjetivos e de difícil tradução em números. Além disso, escolheu-se somente critérios diretamente associados ao problema e que pudessem ser facilmente incluídos na função objetivo. Com isso, chegou-se aos dois critérios de satisfação a seguir:

- (1) Preferência dos inspetores por tipo de inspeção;
- (2) Preferência dos inspetores por destino.

Também na *seção 3.2.1*, externou-se os motivos que levaram a escolha do ordenamento simples (*ranking*) para escalonar as preferências, ambas em ordem decrescente.

Devido à dificuldade de entrevistar todos os inspetores, tanto por questões de acessibilidade quanto pelo grande número de pessoas envolvidas, somada à falta de tempo hábil para tal, e, considerando ainda que o presente estudo está interessado em encontrar um método abrangente para a resolução do problema, ou seja, que possa ser aplicado a vários cenários diferentes ano após ano, inclusive no que se refere à quantidade e distribuição das inspeções e às preferências dos inspetores, decidiu-se por gerar, de forma aleatória, as preferências dos inspetores assim como o peso relativo que cada um tem em relação às duas preferências em questão.

5.2 Inspeções Programadas vs Inspeções Demandadas

Conforme explicado na *seção 1.2*, todas as inspeções programadas são conhecidas *a priori* e com considerável antecedência, antes mesmo do início do ano, evidenciando assim que todas elas podem ter suas equipes definidas logo após a aprovação do Plano de Trabalho Anual (PTA), sem a necessidade de esperar o surgimento das inspeções sob demanda. Com isso, o problema sob estudo pôde ser dividido em dois problemas menores e independentes.

Em um primeiro momento, o mecanismo de alocação define todas as equipes das inspeções programadas, respeitando-se, obviamente, todas as restrições existentes. Logo a seguir, a satisfação de cada inspetor e a carga individual de dias de inspeção são atualizadas, servindo inclusive de entrada para o segundo problema: as inspeções demandadas.

No decorrer do ano, à medida que as inspeções sob demanda forem surgindo, um segundo algoritmo é executado de forma periódica, com o objetivo de definir as equipes das

inspeções em aberto. Cada vez que o algoritmo roda, a carga de dias de inspeção e a satisfação dos inspetores envolvidos são atualizadas e servem de entrada para a próxima iteração. Conforme justificado na *seção 3.1.1*, decidiu-se por testar duas frequências de alocação diferentes para as inspeções demandadas: diária e semanal.

Além disso, conforme descrito na *seção 3.2.2*, atinge-se uma melhor solução caso se divida os inspetores em subconjuntos, ao invés de tentar uma satisfação homogênea generalizada. Por isso, além da divisão entre programadas e demandadas, o problema pode ser novamente dividido, sendo cada um dos 10 subconjuntos (*Anexo D*) tratados de forma parcialmente independente, o que além de proporcionar melhores resultados, reduz significativamente o esforço computacional requerido.

5.2.1 Função Objetivo e Restrições para as Inspeções Programadas

Como todas as inspeções programadas para o ano já estão definidas ao final do ano anterior, a melhor forma para buscar a otimização da montagem dessas equipes de inspeção é tratar todas elas ao mesmo tempo, ou seja, definindo de uma só vez todas as equipes das inspeções programadas.

Considerando que o objetivo da solução pretendida é a máxima satisfação homogênea dos inspetores pertencentes a um mesmo subconjunto e que a busca pela redução de custo de deslocamento foi tratada como uma restrição parametrizada (ver *seção 3.1.5*), tem-se as seguintes equações para o modelo das inspeções programadas:

Função Objetivo:

$$Max\left(\frac{\sum_q I(q_b) \bar{S}_q}{I}\right) \rightarrow Max\left(\frac{\sum_q I(q_b) \frac{\sum_i S_{qi}}{I(q_b)}}{I}\right) \rightarrow Max\left(\frac{\sum_q \sum_i S_{qi}}{I}\right) \rightarrow Max\left(\sum_q \sum_i S_{qi}\right)$$

Restrição Parametrizada:

$$C_T = \sum_q \sum_i \sum_p \sum_j \sum_k \sum_g c_{qik} X_{qipjkg} \leq C(L)$$

Onde:

$$I = \sum_q I(q_b)$$

$$\bar{S}_q = \frac{\sum_i S_{qi}}{I(q_b)}$$

$$S_{qi} = \frac{\sum_p \sum_j \sum_k \sum_g w_{qijk} d_j X_{qipjkg}}{D_{qi}}$$

$$D_{qi} = \sum_p \sum_j \sum_k \sum_g d_j X_{qipjkg}$$

Cujas restrições são:

$$Max(S_{q1}, S_{q2}, \dots, S_{qI(q_b)}) - Min(S_{q1}, S_{q2}, \dots, S_{qI(q_b)}) \leq S_{dif}$$

$$Max(D_{q1}, D_{q2}, \dots, D_{qI(q_a)}) - Min(D_{q1}, D_{q2}, \dots, D_{qI(q_a)}) \leq D_{dif_{ins}}$$

$$Max(D_{qI(q_a)+1}, D_{qI(q_a)+2}, \dots, D_{qI(q_b)}) - Min(D_{qI(q_a)+1}, D_{qI(q_a)+2}, \dots, D_{qI(q_b)}) \leq D_{dif_{pil}}$$

$$\sum_q \sum_i X_{qipjkg} = E_j$$

$$\sum_p \sum_k \sum_g X_{qipjkg} \geq M_{qij_{progr}}$$

$$\sum_p \sum_{j \in J_{natr(q,i)}} \sum_k \sum_g X_{qipjkg} = 0$$

$$L_{qip_{progr}} \leq \sum_j \sum_k \sum_g d_j X_{qipjkg} \leq U_{qip_{progr}}$$

Variáveis de decisão:

$$X_{qipjkg} \in \{0; 1\}$$

X_{qipjkg} : variável de decisão binária $\{0,1\}$, que significa se o inspetor i do subconjunto q foi ou não designado para compor a equipe da inspeção (p, j, k, g) , que tem como características: mês de execução p , inspeção do tipo j , localidade k , sessão g . O índice g

foi criado para diferenciar inspeções distintas dentro de um mesmo mês, mas que são do mesmo tipo e que acontecem na mesma unidade federativa do Brasil. g é um índice então que depende de p, j e k .

Restrição Parametrizada:

C_T : custo total dos deslocamentos dos inspetores (somente passagens aéreas).

Variáveis Auxiliares:

\bar{S}_q : satisfação média dos inspetores do subconjunto q .

S_{qi} : satisfação do inspetor i do subconjunto q .

D_{qi} : total de dias de inspeção atribuídos ao inspetor i do subconjunto q .

Índices:

$q = 1, \dots, 10 \rightarrow q = 1$: subconjunto CTAC; $q = 2: \dots; q = 10$: subconjunto TAAP.

$i = 1, \dots, I(qa), I(qa)+1, \dots, I(qb) \rightarrow$ onde I : índice do primeiro inspetor não piloto do subconjunto q ; $I(qa)$: índice do último inspetor não piloto do subconjunto q ; $I(qa)+1$: índice do primeiro inspetor piloto do subconjunto q ; $I(qb)$: índice do último inspetor piloto do subconjunto q .

I : número total de inspetores

$p \in \{1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12\} \rightarrow p$: respectivo mês do ano.

$j = 1, \dots, n \rightarrow n$: número de tipos de inspeção existentes.

$k = 1, \dots, 27 \rightarrow 27$ destinos diferentes (unidades federativas do Brasil).

$g = 1, \dots, G_{pjk_progr} \rightarrow G_{pjk_progr}$: número total de inspeções programadas do tipo j para o destino k no mês p . Se $G_{pjk_progr} = 0$, então a parcela correspondente não entra no somatório, já que a inspeção em questão simplesmente não existe.

$J_{natr(q,i)}$: conjunto dos tipos de inspeção não atribuídos ao inspetor i do subconjunto q .

Coefficientes:

w_{qijk} : coeficiente que informa a preferência do inspetor i do subconjunto q em realizar uma inspeção de tipo j na localidade k . $w_{qijk} \in (0 \dots 1]$, se o inspetor i do subconjunto q tem atribuição de realizar inspeção do tipo j . Caso contrário, $w_{qijk} = -B$ (B : número grande e positivo).

$d_j \in \{0,5;1;2;3;4;5\}$: duração em dias de uma inspeção do tipo j .

$c_{qik} = c_{sk}$: custo de deslocação do inspetor i do subconjunto q para ir da sua cidade-sede s até o destino k (somente passagens aéreas). Como o inspetor não influencia no custo das passagens, mas somente a sua cidade-sede e o destino k , há somente 5 conjuntos diferentes de c_{qik} , um para cada uma das 5 cidades-sede do problema. $s(q, i) \in \{1; 2; 3; 4; 5\}$.

Parâmetros:

$S_{dif} \in [0 \dots 1]$: diferença máxima aceita entre a satisfação de dois inspetores quaisquer de um mesmo subconjunto q . Conforme seção 3.2, definiu-se $S_{dif} = 10\% = 0,1$.

$D_{dif_{ins}}$: diferença máxima aceita entre os totais de dias de inspeção atribuídos a dois inspetores não pilotos quaisquer de um mesmo subconjunto q . Conforme seção 3.1.4, definiu-se $D_{dif_{ins}} = 10$.

$D_{dif_{pil}}$: diferença máxima aceita entre os totais de dias de inspeção atribuídos a dois inspetores pilotos quaisquer de um mesmo subconjunto q . Conforme seção 3.1.4, definiu-se $D_{dif_{pil}} = 10$.

$C(L)$: custo máximo permitido para os deslocamentos dos inspetores para todas as inspeções programadas, definido de forma parametrizada (dinâmica), buscando sempre o menor valor possível que não infrinja nenhuma das demais restrições do problema. Primeiro valor definido para custo máximo permitido é $C(L) = C_{progr}$. C_{progr} : custo máximo admissível pela SPO para realizar todas as inspeções programadas do ano.

E_j : tamanho da equipe para a inspeção do tipo j .

$M_{qij_{progr}}$: Meta anual do inspetor i do subconjunto q para a inspeção do tipo j , relacionada às inspeções programadas. Caso o inspetor não tenha atribuição de realizar inspeções para um determinado tipo j , $M_{qij_{progr}} = 0$.

$L_{qip_{progr}}$: limite mínimo de dias de inspeções programadas que o inspetor i do subconjunto q deve realizar no mês p .

$U_{qip_{progr}}$: limite máximo de dias de inspeções programadas que o inspetor i do subconjunto q pode realizar no mês p .

5.2.2 Função Objetivo e Restrições para as Inspeções Demandadas

A partir do início do ano começam então a surgir as inspeções demandadas, em um ritmo diário que pode até chegar à casa da dezena, principalmente por causa dos pedidos de *cheque*. Conforme já justificado na seção 3.1.1, o mecanismo de alocação dos inspetores para as inspeções demandadas será executado em uma frequência diária ou semanal, a depender dos resultados alcançados por cada uma das opções.

Como aspecto fundamental, decidiu-se por não implementar nenhuma técnica de *machine learning* ou de inteligência artificial similar, isto é, o mecanismo de alocação não considera o registro histórico para prever as inspeções que estariam por vim, e, no caso, se permitir infringir momentaneamente certas restrições em busca de um melhor resultado no fim do ano, inclusive com todas as restrições sendo recuperadas ou praticamente recuperadas. Apesar do ganho no resultado final, se essa abordagem fosse adotada, criaria-se um problema de expectativa entre os inspetores. Sempre que fossem consultar suas satisfações e suas cargas de dias de inspeções, eles constatariam falhas momentâneas na homogeneidade prometida. Isso causaria frustrações e um trabalho adicional de gestão de expectativa, já que durante o ano inteiro seria necessário empenhar algum esforço convencendo os inspetores que ao fim do ano tudo estaria equilibrado. Foi por isso então que se optou por um algoritmo de alocação que sempre busque a melhor solução para o momento. Mesmo com essa renúncia de uma maior satisfação média no fim do ano, tem-se um ganho psicológico para os inspetores e uma maior confiança no algoritmo, já que, a qualquer época, o equilíbrio estará sempre presente.

Como o problema das inspeções demandadas é similar ao problema das inspeções programadas, inclusive com ambas possuindo os mesmos objetivos, a função objetivo e as restrições propostas para tratar das inspeções demandadas partiram de uma adaptação do primeiro caso.

Em um primeiro momento, a alteração que se precisou fazer na função objetivo foi considerar o passado, ou seja, as alocações que já foram definidas anteriormente dentro do mesmo ano. Isso se fez necessário para que as inspeções em aberto influenciassem corretamente na satisfação atual de cada inspetor, ou seja, à medida que o ano vai passando, uma nova inspeção tem cada vez menos peso na satisfação geral do inspetor. Inclusive, cada inspetor já terá uma satisfação inicial diferente de zero, correspondente à satisfação que cada um obteve na montagem das inspeções programadas, que foram definidas antes do início do ano.

Um outro ponto que precisa ser contemplado é que certas restrições presentes nas inspeções programadas não teriam como ser cumpridas nas primeiras iterações do mecanismo de montagem das equipes das inspeções sob demanda, já que, no primeiro dia, na primeira semana ou mesmo nos primeiros meses, é impossível, por exemplo, que as inspeções que surjam sejam suficientes para já satisfazer as metas anuais dos inspetores. Além disso, a restrição de custo também precisou ser revisada, para que um limite máximo condizente com o número de inspeções em processo de alocação fosse estabelecido.

Para que o algoritmo simplesmente não buscasse isoladamente o cumprimento das metas tão rápido quanto possível, ou seja, abrindo mão nos primeiros meses das outras restrições, inclusive a de homogeneidade, e ainda relaxando a busca pela máxima satisfação média, a estratégia de dividir o algoritmo em dois estágios, primeiro só habilitando para compor a equipe de uma inspeção quem ainda estivesse com meta em

aberto, para só então passar a considerar os outros inspetores, foi descartada. No lugar disso, optou-se por tornar a meta anual uma restrição flexível, incluindo-a na função objetivo, tornando assim o modelo um sistema de decisão multicritério de um só estágio.

O objetivo então estipulado na função objetivo para o critério das metas anuais foi minimizar a soma de todas as metas em aberto dos inspetores. Com isso, o algoritmo se livrou da restrição de cumprir de uma só vez todas as metas estabelecidas, ou ainda, para o caso já descartado de dividir o algoritmo em dois estágios, de tornar o cumprimento das metas prioridade absoluta. Além disso, ao se optar pela soma, o algoritmo também ficou livre de qualquer compromisso em estabelecer um cumprimento equilibrado das metas entre os inspetores, já que isso só traria complexidade à resolução sem nenhum benefício para o resultado almejado, tanto para a iteração em questão quanto para o resultado final após a última iteração do ano. É preciso ter em mente que não há problema algum em dois inspetores concluírem suas metas em meses distintos, inclusive em meses bem distantes entre si. O que importa de fato é chegar ao final do ano com todas as metas de todos os inspetores cumpridas. Por isso, a preocupação que se teve na definição do objetivo associado ao critério das metas foi somente a redução do número total de metas ainda pendentes, escolhendo como foco minimizar ou até mesmo eliminar o risco de sobrar metas em aberto no fim do ano.

Por não se ter chegado a uma conclusão de que peso seria o mais adequado para o objetivo das metas, em comparação com a busca pela máxima satisfação média, decidiu-se por propor 4 (quatro) possibilidades: 25%, 50%, 75% e uma quarta opção de peso variável. Nessa última situação, o peso começa num patamar baixo e vai sendo ajustado de acordo com o ritmo de cumprimento das metas. Um novo peso é calculado a cada novo mês, olhando-se para o ritmo de redução das metas alcançado no mês anterior e que incremento ou decremento percentual nessa taxa de redução seria necessário para cumprir todas as metas com 2 (dois) meses de antecedência, ou seja, ao final de outubro. Essa antecedência foi imposta a partir da experiência interna da SPO, que considera 2 (dois) meses tempo suficiente para correr atrás das metas em aberto. Antes de cogitar se tal antecedência não poderia ser reduzida, é importante perceber que, por se tratar de inspeções sob demanda, existe um grau de imprevisibilidade associado a que inspeções podem surgir nos últimos dois meses do ano.

Já na questão do custo, nada de estrutural precisou ser revisado. A única modificação necessária foi adaptar, para cada iteração, o custo máximo aceitável de acordo com o conjunto de inspeções sob processamento, já que não faz sentido utilizar o custo anual das inspeções programadas como limitador. Como o custo não depende do inspetor nem do tipo de inspeção, apenas variando com a cidade de origem (cidade-sede) dos inspetores e a localidade da inspeção, não se viu necessidade de criar um cálculo sofisticado para determinar um custo inicial máximo aceitável para cada iteração, já que, por se tratar de uma restrição parametrizada, esse valor ainda será reduzido sucessivas vezes. Por isso, o cálculo do teto de gasto para cada iteração foi realizado da forma mais simples e intuitiva possível, fazendo simplesmente um cálculo de proporcionalidade em relação ao custo

máximo admissível para as inspeções programadas, comparando-se o número total de alocações de inspetores feitas nas inspeções programadas com o número de alocações de inspetores necessários para a definição de todas as equipes das inspeções sob demanda da iteração sob análise.

Diante de tudo que foi exposto, ficaram assim as equações para o modelo das inspeções demandadas:

Função Objetivo na iteração f:

$$\begin{aligned} & \text{Max} \left(\beta^f \frac{\sum_q I(q_b) \bar{S}_q^f}{I} + (1 - \beta^f)(1 - \Delta T^f \%) \right) \rightarrow \\ & \text{Max} \left(\beta^f \frac{\sum_q \sum_i S_{qi}^f}{I} + (1 - \beta^f)(1 - \Delta T^f \%) \right) \end{aligned}$$

Restrição Parametrizada:

$$C_T = \sum_q \sum_i \sum_p \sum_j \sum_k \sum_g c_{qik} X_{qipjkg} \leq C(L)$$

Onde:

$$I = \sum_q I(q_b)$$

$$\bar{S}_q^f = \frac{\sum_i S_{qi}^f}{I(q_b)}$$

$$S_{qi}^f = \frac{D_{Tqi}^{f-1} S_{qi}^{f-1} + \sum_j \sum_k \sum_g w_{qijk} d_j X_{qijk}^f}{D_{Tqi}^f}$$

$$D_{Tqi}^f = D_{Tqi}^{f-1} + D_{qi}^f$$

$$D_{qi}^f = \sum_j \sum_k \sum_g d_j X_{qijk}^f$$

$$S_{qi}^0 = S_{qi_progr}$$

$$D_{Tqi}^0 = D_{Tqi_progr}$$

$$\Delta T^f \% = \frac{\sum_q \sum_i \sum_j T_{qij}^{f-1} - \sum_q \sum_i \sum_j T_{qij}^f}{\sum_q \sum_i \sum_j T_{qij}^{f-1}} se \sum_q \sum_i \sum_j T_{qij}^{f-1} > 0$$

$$\Delta T^f \% = 1 se \sum_q \sum_i \sum_j T_{qij}^{f-1} = 0$$

$$T_{qij}^f = Max \left(T_{qij}^{f-1} - \sum_k \sum_g X_{qijk}^f, 0 \right)$$

$$T_{qij}^0 = M_{qij_deman}$$

Cujas restrições são:

$$Max \left(S_{q1}^f, S_{q2}^f, \dots, S_{qI(q_b)}^f \right) - Min \left(S_{q1}^f, S_{q2}^f, \dots, S_{qI(q_b)}^f \right) \leq S_{dif}$$

$$Max \left(D_{Tq1}^f, D_{Tq2}^f, \dots, D_{TqI(q_a)}^f \right) - Min \left(D_{Tq1}^f, D_{Tq2}^f, \dots, D_{TqI(q_a)}^f \right) \leq D_{difins}$$

$$Max \left(D_{TqI(q_a)+1}^f, D_{TqI(q_a)+2}^f, \dots, D_{TqI(q_b)}^f \right) - Min \left(D_{TqI(q_a)+1}^f, D_{TqI(q_a)+2}^f, \dots, D_{TqI(q_b)}^f \right) \leq D_{difpul}$$

$$N_j^f = \sum_k G_{jk}^f$$

$$N_{jprogr} = \sum_k G_{jk_progr}$$

$$\sum_q \sum_i X_{qijk}^f = E_j$$

$$\sum_{j \in J_{natr(q,i)}} \sum_k \sum_g X_{qijk}^f = 0$$

$$\sum_j \sum_k \sum_g X_{qijk}^f \leq U_{qi_deman}^f$$

Variáveis de decisão:

$$X_{qijk}^f \in \{0; 1\}$$

X_{qijk}^f : variável de decisão binária $\{0,1\}$, que significa se o inspetor i do subconjunto q foi ou não designado para compor a equipe da inspeção (f, j, k, g) , que tem como características: iteração f , inspeção do tipo j , localidade k , sessão g . O índice g foi criado para diferenciar inspeções distintas dentro de uma mesma iteração, mas que são do mesmo tipo e que acontecem na mesma unidade federativa do Brasil. g é um índice então que depende de f, j e k .

T_{qij}^f : número de inspeções sob demanda do tipo j que ainda resta para o inspetor i do subconjunto q realizar como meta anual, depois das alocações definidas na iteração f .

Restrição Parametrizada:

C_T^f : custo total dos deslocamentos dos inspetores na iteração f (somente passagens aéreas).

Variáveis Auxiliares:

\bar{S}_q^f : satisfação média dos inspetores do subconjunto q na iteração f .

S_{qi}^f : satisfação do inspetor i do subconjunto q na iteração f .

S_{qi_progr} : satisfação do inspetor i do subconjunto q atingida após a montagem de todas as equipes das inspeções programadas.

$\Delta T^f\%$: diminuição percentual atingida na iteração f em relação ao total de metas que existia na iteração $f-1$.

D_{qi}^f : total de dias de inspeção sob demanda atribuídos ao inspetor i do subconjunto q na iteração f .

D_{Tqi}^f : total de dias de inspeção atribuídos ao inspetor i do subconjunto q desde o início do ano até a iteração f .

D_{Tqi_progr} : total de dias de inspeção atribuídos ao inspetor i do subconjunto q após a montagem de todas as equipes das inspeções programadas.

Índices:

$q = 1, \dots, 10 \rightarrow q = 1$: subconjunto CTAC; $q = 2: \dots; q = 10$: subconjunto TAAP.

$i = 1, \dots, I(qa), I(qa)+1, \dots, I(qb) \rightarrow$ onde I : índice do primeiro inspetor não piloto do subconjunto q ; $I(qa)$: índice do último inspetor não piloto do subconjunto q ; $I(qa)+1$: índice do primeiro inspetor piloto do subconjunto q ; $I(qb)$: índice do último inspetor piloto do subconjunto q .

I : número total de inspetores

$j = 1, \dots, n \rightarrow n$: número de tipos de inspeção existentes.

$k = 1, \dots, 27 \rightarrow 27$ destinos diferentes (unidades federativas do Brasil).

$g = 1, \dots, Gjkf \rightarrow Gjkf$: número total de inspeções programadas do tipo j para o destino k na iteração f . Se $Gjkf = 0$, então a parcela correspondente não entra no somatório, já que a inspeção em questão simplesmente não existe na iteração f .

$J_{natr(q,i)}$: conjunto dos tipos de inspeção não atribuídos ao inspetor i do subconjunto q .

Coefficientes:

$\beta^f \in [0...1]$: importância percentual, na iteração f , atribuída a satisfação média dos inspetores em relação ao cumprimento das metas anuais. $\beta^f = 0,5$ significa uma igual importância dada aos dois critérios, na iteração f .

w_{qijk} : coeficiente que informa a preferência do inspetor i do subconjunto q em realizar uma inspeção de tipo j na localidade k . $w_{qijk} \in (0...1]$, se o inspetor i do subconjunto q tem atribuição de realizar inspeção do tipo j . Caso contrário, $w_{qijk} = -B$ (B : número grande e positivo).

$d_j \in \{0,5;1;2;3;4;5\}$: duração em dias de uma inspeção do tipo j .

$c_{qik} = c_{sk}$: custo de deslocação do inspetor i do subconjunto q para ir da sua cidade-sede s até o destino k (somente passagens aéreas). Como o inspetor não influencia no custo das passagens, mas somente a sua cidade-sede e o destino k , há somente 5 conjuntos diferentes de c_{qik} , um para cada uma das 5 cidades-sede do problema. $s(q,i) \in \{1;2;3;4;5\}$.

Parâmetros:

M_{qij_deman} : meta anual do inspetor i do subconjunto q para a inspeção do tipo j , relacionada às inspeções sob demanda. Caso o inspetor não tenha atribuição de realizar inspeções para um determinado tipo j , $M_{qij_deman} = 0$.

$S_{dif} \in [0...1]$: diferença máxima aceita entre a satisfação de dois inspetores quaisquer de um mesmo subconjunto q . Conforme seção 3.2, definiu-se $S_{dif} = 10\% = 0,1$.

$D_{dif_{ins}}$: diferença máxima aceita entre os totais de dias de inspeção atribuídos a dois inspetores não pilotos quaisquer de um mesmo subconjunto q a qualquer tempo. Conforme *seção 3.1.4*, definiu-se $D_{dif_{ins}} = 10$.

$D_{dif_{pil}}$: diferença máxima aceita entre os totais de dias de inspeção atribuídos a dois inspetores pilotos quaisquer de um mesmo subconjunto q . Conforme *seção 3.1.4*, definiu-se $D_{dif_{pil}} = 10$.

$C^f(L)_{deman}$: custo máximo permitido para os deslocamentos dos inspetores na iteração f , definido de forma parametrizada (dinâmica), buscando sempre o menor valor possível que não infrinja nenhuma das demais restrições do problema na iteração f .

C_{progr} : custo máximo admissível pela SPO para realizar todas as inspeções programadas do ano.

N_j^f : número de inspeções demandadas do tipo j na iteração f .

N_{jprogr} : número de inspeções programadas para o ano que são do tipo j .

G_{jk_progr} : quantidade anual de inspeções programadas do tipo j para o destino k .

E_j : tamanho da equipe para a inspeção do tipo j .

$U_{qi_deman}^f$: limite máximo de dias de inspeções sob demanda que o inspetor i do subconjunto q pode realizar na iteração f . $U_{qi_deman}^f = 0$ quando o inspetor estiver indisponível no período f (ex: férias). Caso contrário, $U_{qi_deman}^f = B$ (B : número grande e positivo).

6 Heurística Construtiva para a Escala dos Inspectores

6.1 Motivação e Resumo da Heurística

Tendo em vista que o problema de alocação de inspectores da ANAC é um problema de otimização combinatória (NP-difícil), mais especificamente um problema de programação inteira binária pura, sua resolução exata pode se tornar computacionalmente inviável, já que sua complexidade cresce de forma exponencial com o aumento do número de variáveis de decisão.

Sem considerar nenhuma restrição, no ano de 2017 tem-se, para as inspeções programadas, 85095 variáveis binárias de decisão (93 inspectores x 915 atividades). Isso acarreta um universo de 2^{85095} soluções diferentes, o que torna inviável a busca exaustiva pela solução ótima global. Nesse caso, algum MILP ou alguma heurística precisa ser aplicada em busca de uma boa solução (aproximadamente ótima), nunca se tendo a garantia de se tratar da melhor solução existente.

Porém, antes de avançar, pode-se eliminar previamente todas as variáveis de decisão referente às inspeções que cada inspector está impedido de realizar, seja por falta de qualificação, seja por falta de competência. Ou seja, uma parte considerável das variáveis de decisão já podem ter seus valores fixados em zero, ou de forma equivalente, serem simplesmente eliminadas do problema. Com isso, para o ano de 2017, o novo universo é de 23612 variáveis de decisão (binárias), com a eliminação prévia de 61483 variáveis.

Após essa redução, poderia se pensar em tentar uma resolução através de algum método de programação linear adaptado ao caso binário puro ou até mesmo um MILP mais abrangente. Entretanto, a dimensão do problema ainda se mostra muito grande para o uso de ferramentas computacionais gratuitas ou programas já licenciados dentro da ANAC, como o Microsoft EXCEL e seu pacote *Simplex*.

Diante dessa limitação, mais especificamente da falta de uma ferramenta computacional profissional de otimização, a aplicação de métodos de programação linear e de metaheurísticas sofisticadas foram desconsideradas no desenvolvimento do mecanismo de escala de inspectores. Como alternativa, desenvolveu-se uma proposta de heurística construtiva, dividida em blocos, cada um focado em um tipo de restrição do problema, como exceção do primeiro, que é executado uma única vez para proporcionar a solução de início, que será modificada no decorrer da aplicação dos demais blocos do algoritmo.

A **Figura 3** mostra um fluxograma resumido do que seria o algoritmo. Conforme o esquema apresentado, a primeira ação do algoritmo é proporcionar uma solução inicial para o problema. Para tal, o primeiro bloco considera apenas um tipo de restrição para a montagem de todas as equipes das inspeções: o tamanho da equipe de cada atividade. Com isso, procurando-se sempre maximizar a função objetivo, reduzindo o custo de

deslocamentos como primeiro objetivo e maximizando a satisfação dos inspetores como segundo, todas as atividades têm suas equipes definidas.

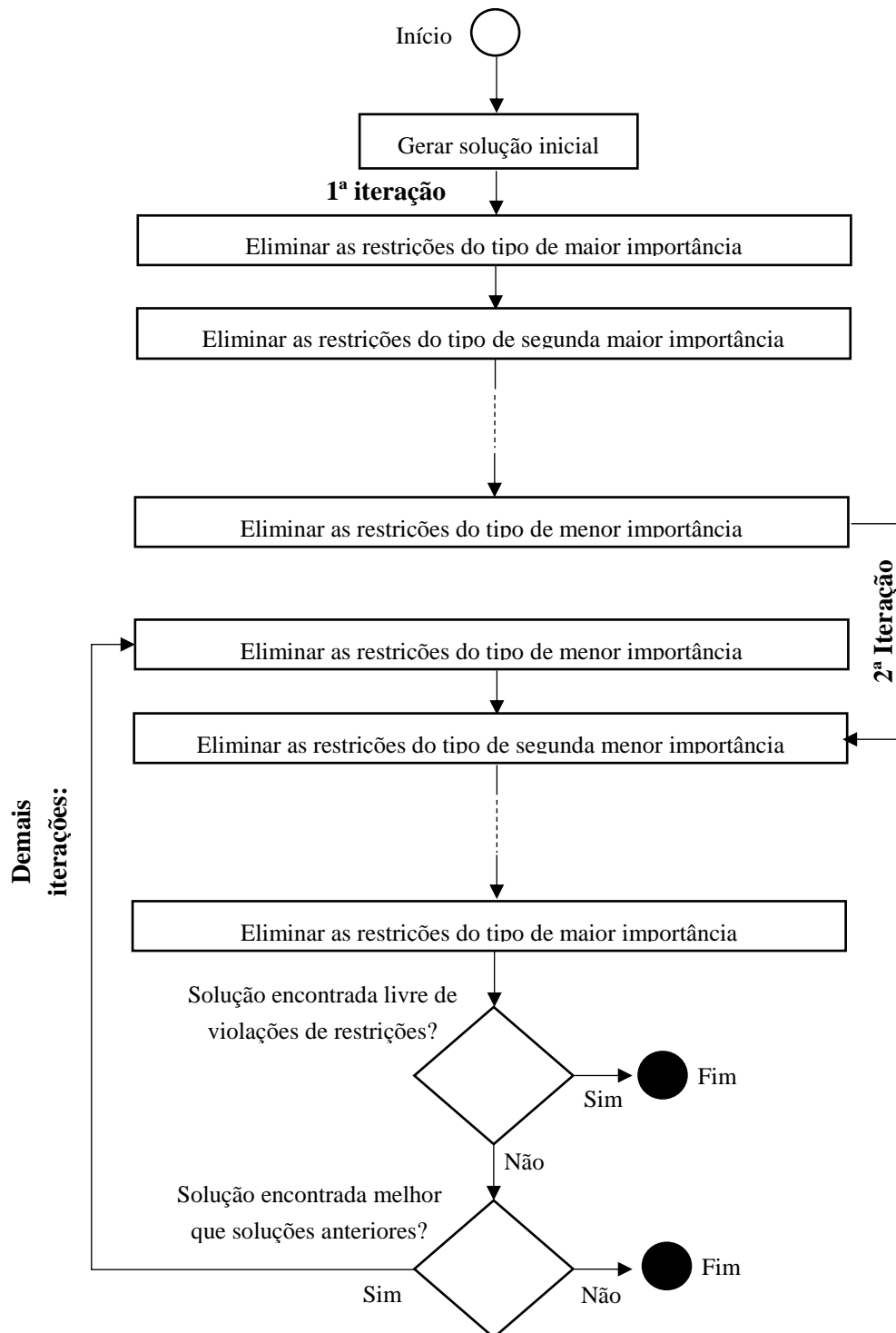


Figura 3 - Fluxograma do Mecanismo proposto para a Escala dos Inspectores da ANAC.

Com uma primeira solução definida, parte-se então para sucessivas modificações da solução inicial, com foco no atendimento de todas (ou quase todas) as restrições do problema.

Em um primeiro momento, cada bloco de restrição tentará reduzir todas as suas violações a zero sem perturbar nenhuma das demais restrições, ou seja, considerando todos os demais tipos de restrições como restrições rígidas. Quando a eliminação total das violações do bloco sob execução não for alcançada, o bloco é novamente executado, só que dessa vez com o relaxamento de um ou mais tipos de restrição (passando a ser flexível), de acordo com a ordem crescente de importância. Tal relaxamento não desconsidera a restrição por total. Ele apenas adiciona o menor incremento (ou decremento) possível para que ao menos uma troca de inspetores possa ser realizada. Com isso, garante-se que o tipo de restrição sob relaxamento seja perturbado o mínimo possível. Esse processo é então repetido até zerar as violações do bloco ou até que não seja mais possível realizar uma troca, mesmo com o tipo de restrição em relaxamento sendo ignorado por completo (relaxamento total). É nessa segunda situação então que se parte para a próxima configuração de relaxamento.

Considerando então a necessidade de relaxamento, os tipos de restrições (com exceção da restrição sob análise) serão ordenados de acordo com a sua importância, sendo cada um representado por um bit de um número binário. O tipo de restrição de maior importância ficará com o bit mais significativo do número, enquanto o bit menos significativo ficará para a restrição menos importante. O valor do bit igual a 1 significa que o tipo de restrição corresponde se encontra relaxado. O número binário é então iniciado no valor 1, significando que apenas a restrição menos importante foi relaxada. Caso ainda assim não se elimine todas as violações das restrições do bloco sob execução, o valor desse número binário é incrementado em uma unidade, passando a ser 2. Se precisar chegar a 3, as duas restrições menos importantes estarão relaxadas. Se mesmo assim não for suficiente, o número atinge o valor de 4, onde apenas a terceira restrição menos importante foi relaxada, com as duas restrições anteriores voltando a ser rígidas. Esse processo continua até que se elimine todas as violações do bloco sob execução, ou até o número binário atingir seu valor máximo, ou seja, com todos os bits iguais a 1 (todas as demais restrições relaxadas). Quanto à ordem de importância dos tipos de restrições, isso ficará a critério da SPO/ANAC.

Essa mesma ordem de importância também será usada para a execução dos blocos. Na primeira iteração do algoritmo, os blocos serão aplicados na ordem decrescente de importância, ou seja, com o tipo de restrição mais importante tendo seu bloco executado primeiro. Com a solução encontrada após a execução de todos os blocos, eles passam então, da segunda iteração em diante, a serem novamente aplicados, só que dessa vez na ordem inversa, ou seja, na ordem crescente de importância. Com isso, a partir da segunda iteração, busca-se sempre eliminar por último as violações do tipo de restrição mais importante.

Para avaliar a qualidade da solução encontrada em cada iteração (solução essa que só passa a ser considerada após o término da segunda iteração), isto é, para se fazer uma comparação entre as soluções encontradas em cada iteração, deve-se seguir o seguinte procedimento:

- (1) Caso não tenha sobrado nenhuma violação de restrição, considera-se a iteração atual como a solução final para o problema;
- (2) Caso tenha sobrado pelo menos uma violação de restrição e seja ainda a primeira iteração do algoritmo, executar novamente todos os blocos, só que de agora em diante na ordem inversa (do tipo de restrição menos importante até a mais importante);
- (3) Caso tenha sobrado pelo menos uma violação de restrição e seja pelo menos a segunda iteração, o seguinte critério deve ser estabelecido para comparar a solução alcançada na atual iteração com a obtida na iteração anterior ou nas iterações anteriores:
 - a. Ordenar os tipos de restrições de acordo com a ordem de importância pré-estabelecida, excluindo as violações já analisadas anteriormente;
 - b. Com o tipo de restrição da vez definido, comparar, entre as soluções obtidas, o total de unidades de medição do critério de todos os inspetores (ou grupos ou subconjuntos) que infringiram a restrição sob análise (unidades de medição possíveis: número de inspeções, para o caso das metas anuais; número de dias, para o caso da carga de trabalho mínima mensal, carga de trabalho máxima mensal e equilíbrio de carga de trabalho dentro dos grupos; e satisfação percentual, para o caso do equilíbrio de satisfação dentro dos subconjuntos);
 - c. Em caso de empate de uma ou mais soluções em relação ao *item b*, considerar como critério de desempate a quantidade total de violações atingidas para o tipo de restrição sob análise, considerando como melhor solução aquela que apresentou o maior valor – o que mesmo significando mais violações no total, tem a vantagem de apresentar, em média, os inspetores (ou grupos ou subconjuntos) mais próximos de terem cumprido individualmente a restrição em questão;
 - d. Em caso de novo empate, classificar o tipo de restrição como analisado e retornar ao *item a*. Caso se trate do último tipo de restrição sob análise, as soluções que chegaram até aqui são consideradas de igual qualidade.

Na *seção 6.2*, a heurística construtiva supra descrita de forma resumida é apresentada em detalhes, com todos os seus passos, considerando o problema das inspeções programadas. Já a *seção 6.3* descreve que adaptações são necessárias para que se possa aplicar essa mesma heurística ao problema das inspeções demandadas.

6.2 Heurística Construtiva para as Inspeções Programadas

Algumas observações relacionadas ao algoritmo:

- (1) Caso qualquer item do algoritmo não faça referência do próximo passo a executar, significa que se deve seguir para o passo imediatamente abaixo;
- (2) Todos os blocos de restrições do algoritmo (blocos 2, 3, 4 e 5) possuem limite de iterações internas para se evitar tanto *loop* infinito, quanto execução perpétua de um bloco pela simples impossibilidade de seu total cumprimento (zerar todas as violações do seu tipo), mesmo com todos os outros tipos de restrições relaxados;
- (3) *Loops* infinitos de iterações dentro do bloco também são combatidos através de tabelas tabu, que tem seus tamanhos ajustados à medida que os loops são identificados. Sempre que o tipo de violação do bloco sob execução não apresenta melhoramento algum entre duas iterações, sua tabela tabu é incrementada de tamanho, que no caso das restrições de equilíbrio de carga de trabalho e de equilíbrio satisfação, equivale respectivamente à tabela tabu do grupo e do subconjunto correspondente.
- (4) Adicionalmente, *Loops* dentro de uma mesma iteração do bloco também são evitados. Sempre que se precisa escolher a violação individual a ser tratada no momento, onde o critério para tal escolha é irrelevante para o objetivo pretendido, o algoritmo faz uma escolha aleatória, através de sorteio, ao invés de escolher de forma sequencial, por exemplo. Com isso, sempre que o algoritmo retornar a esse ponto, a escolha será sempre diferente, evitando assim a possibilidade de loops dentre as várias instâncias de uma mesma iteração do bloco.

Descreve-se em seguida, e em detalhe, o algoritmo desenvolvido, dividido em 6 blocos principais:

Bloco 1:

1. Gerar solução inicial para o problema

Parâmetros sob consideração:

- ✓ Funções objetivos: Minimizar o custo de deslocamentos e maximizar a soma das satisfações dos inspetores
- ✓ Restrição: Tamanho da equipe de cada inspeção

Para cada inspeção, até que não reste nenhuma sem equipe totalmente definida:

1.1. Levantar todos os inspetores que têm incumbência para realizá-la;

- 1.2. Dentre os inspetores restantes e ainda não alocados na equipe de inspeção, levantar todos aqueles que oferecem o menor custo de deslocamento;
- 1.3. Caso o número de inspetores de menor custo seja igual ao número de vagas restantes da equipe da inspeção, definir esses inspetores como membros da equipe, ir para a inspeção seguinte, retornando ao *passo 1.1*;
Caso o número de inspetores de menor custo seja menor que o número de vagas da equipe, definir esses inspetores como membros da equipe e retornar para o *passo 1.2*;
Caso o número de inspetores de menor custo seja maior que o número de vagas da equipe, seguir para o *passo 1.4*;
- 1.4. Dentre os inspetores de menor custo, ordená-los de forma decrescente de acordo com a satisfação que cada um apresenta em realizar a referida inspeção. Considerando que a inspeção ainda possui n vagas em aberto:
Caso não ocorra empate de satisfação de nenhum dos n primeiros inspetores com o inspetor de colocação $n + 1$, definir esses n primeiros como membros da equipe, ir para a inspeção seguinte, retornando ao *passo 1.1*;
Caso contrário, selecionar o inspetor $n + 1$ e todos inspetores de mesma satisfação, tanto os que foram listados antes quanto os que foram listados depois, e seguir para o *passo 1.5*;
- 1.5. Dentre os inspetores de igual satisfação, definir os que serão membros da equipe de forma aleatória até o preenchimento de todas as vagas. Depois disso, ir para a inspeção seguinte, retornando ao *passo 1.1*.

Bloco 2:

2. Meta de inspeções anuais (quantidade mínima de inspeções anuais por inspetor, segregada por tipo de atividade)

Restrições que podem ser flexibilizadas no momento em que iterações sucessivas apresentam o mesmo resultado:

- *Metas individuais de inspeções anuais por tipo de atividade*
 - *Carga de trabalho mínima mensal individual*
 - *Carga de trabalho máxima mensal individual*
 - *Equilíbrio de carga de trabalho dentro do grupo*
 - *Equilíbrio de satisfação dentro do subconjunto*
- 2.1. Para todos os inspetores que estão infringindo pelo menos uma de suas metas anuais, levantar em que tipos de inspeção ocorreu a violação e por qual diferença de quantidade: Caso não haja nenhum inspetor infringindo pelo menos uma de suas metas individuais anuais, encerrar a execução do bloco;

Caso contrário, seguir para o passo abaixo;

Até que todas as violações de meta anual levantadas no *passo 2.1* sejam sanadas:

- 2.2. Escolher, de forma aleatória, uma violação a ser sanada, verificando quem é o inspetor, o tipo de inspeção e a quantidade de atividades em falta;
- 2.3. Levantar todas as inspeções programadas existentes no ano para o tipo em questão;
- 2.4. Dentre as inspeções levantadas, descartar aquelas das quais o inspetor já faz parte da equipe e aquelas que se encontram na tabela Tabu;

Os *passos 2.5, 2.6, 2.7 e 2.8* podem ser executados em qualquer ordem e podem ser relaxados conforme método descrito no início do capítulo:

- 2.5. Dentre as inspeções restantes, vetar aquelas cuja entrada do inspetor fará com que ele passe a violar sua *Carga de trabalho máxima mensal*;
- 2.6. Dentre as inspeções restantes, vetar aquelas cuja saída do outro inspetor fará com esse passe a violar sua *Carga de trabalho mínima mensal*;
- 2.7. Dentre as inspeções restantes, vetar as vagas cuja a entrada do inspetor e/ou a saída do outro inspetor fará com que pelo menos o grupo de um deles passe a violar a meta de *Equilíbrio de carga de trabalho*;
- 2.8. Dentre as inspeções restantes, vetar as vagas cuja a entrada do inspetor e/ou a saída do outro inspetor fará com que pelo menos o subconjunto de um deles passe a violar a meta de *Equilíbrio de satisfação*;
- 2.9. Dentre as inspeções restantes, vetar as vagas cuja saída do outro inspetor fará com que ele passe a violar uma de suas *Metas individuais de inspeções anuais por tipo de atividades* (tal restrição começa rígida, mas pode ser flexibilizada nos casos em que iterações sucessivas não produzam mais melhoria na solução. Nesse caso, esse inspetor que saiu passará a infringir um de suas metas anuais. Nas novas iterações esse inspetor poderá então entrar numa outra inspeção sem a necessidade de violar uma das *Metas individuais de inspeções anuais por tipo de atividades* do inspetor que ceder a vaga);
- 2.10. Dentre as vagas restantes, escolher aquela à qual o inspetor atual da inspeção possui o maior número de atividades anuais para o tipo:
Caso não haja vagas empatadas nesse critério, seguir para o *passo 2.14*;
Caso haja empate, selecionar as vagas onde isso ocorreu e seguir para o *passo 2.11*;

- 2.11. Dentre as vagas restantes, escolher aquela que trará o melhor desempenho para o custo total (ou seja, dentre as vagas candidatas, escolher aquela cuja troca de inspetores trará a maior redução de custo, ou não havendo tal possibilidade, aquela que trará o menor aumento de custo total):
 Caso não haja vagas empatadas nesse critério, seguir para o *passo 2.14*;
 Caso haja empate, selecionar as vagas onde isso ocorreu e seguir para o *passo 2.12*;
- 2.12. Dentre as vagas restantes, escolher aquela que trará o melhor desempenho para a satisfação média global (ou seja, dentre as vagas candidatas, escolher aquela cuja troca de inspetores trará o maior ganho para a satisfação média global, ou não havendo tal possibilidade, aquela que trará a menor perda para a satisfação média global):
 Caso não haja vagas empatadas nesse critério, seguir para o *passo 2.14*;
 Caso haja empate, selecionar as vagas onde isso ocorreu e seguir para o *passo 2.13*;
- 2.13. Dentre as vagas restantes, escolher aquela cujo inspetor que cederá a vaga esteja mais distante da sua *Carga de trabalho mínima mensal*:
 Caso não haja vagas empatadas nesse critério, seguir para o *passo 2.14*;
 Caso haja empate, escolher, dentre as vagas restantes, uma de forma aleatória e seguir para o *passo 2.14*;
- 2.14. Realizar a troca, recalculando todos os valores que podem ser afetados com a troca, eliminar a violação da lista, caso a diferença se encontrasse no valor unitário antes da troca, e retornar ao *passo 2.2*;
- 2.15. Quando todas as violações levantadas no *passo 2.1* estiverem sanadas, retornar para o *passo 2.1*;

Bloco 3:

3. Restrição mensal de carga de trabalho (carga de trabalho mínima e máxima mensal)

Restrições que podem ser flexibilizadas no momento em que iterações sucessivas apresentam o mesmo resultado:

- *Metas individuais de inspeções anuais por tipo de atividade*
- *Carga de trabalho mínima mensal individual*
- *Carga de trabalho máxima mensal individual*
- *Equilíbrio de carga de trabalho dentro do grupo*
- *Equilíbrio de satisfação dentro do subconjunto*

$$p = \{1;2;3;4;5;6;7;8;9;10;11;12\} \quad p_{inicial} = 1$$

- 3.1. Levantar, para o p -ésimo mês, todos os inspetores que estão infringindo os seus respectivos limites inferiores de carga de trabalho mensal. Criar então o agrupamento *INF*, formado pelos inspetores que estão subcarregados no mês p . Levantar, para o p -ésimo mês, todos os inspetores que estão infringindo os seus respectivos limites superiores de carga de trabalho mensal. Criar então o agrupamento *SUP*, formado pelos inspetores que estão sobrecarregados no mês p ;
- 3.2. Caso os agrupamentos *SUP* e *INF* estejam simultaneamente vazios, e $p = 12$, encerrar a execução do bloco;
Caso os agrupamentos *SUP* e *INF* estejam simultaneamente vazios, e $p < 12$, retornar para o passo 3.1, com $p = p + 1$;
Caso pelo menos um dos agrupamentos *SUP* e *INF* não esteja vazio, seguir para o passo abaixo;
- 3.3. Verificar qual dentre os 2 tipos de restrições está sob análise:
Caso esteja sob análise o tipo de restrição *Carga de trabalho mínima mensal individual*, seguir para o passo 3.27;
Caso esteja sob análise o tipo de restrição *Carga de trabalho máxima mensal individual*, seguir para o passo abaixo;
- 3.4. Caso o agrupamento *SUP* se encontre vazio, retornar ao passo 3.2;
Caso contrário, seguir para o passo abaixo;
- 3.5. Dentre os inspetores do agrupamento *SUP*, escolher, de forma aleatória, um deles como *inspetorSUP*;
- 3.6. Levantar todas as inspeções do referido mês das quais *inspetorSUP* faz parte da equipe;
- 3.7. Dentre as inspeções levantadas, descartar aquelas que se encontram na tabela Tabu;
- Os passos 3.8, 3.9 e 3.10 podem ser executados em qualquer ordem e podem ser relaxados conforme método descrito no início do capítulo:
- 3.8. Dentre as inspeções restantes, vetar aquelas cuja saída do *inspetorSUP* fará com ele passe a violar uma de suas *Metas individuais de inspeções anuais por tipo de atividade*;
- 3.9. Dentre as inspeções restantes, vetar aquelas cuja saída do *inspetorSUP* fará com que o seu grupo passe a violar a meta de *Equilíbrio de carga de trabalho*;
- 3.10. Dentre as inspeções restantes, vetar aquelas cuja saída do *inspetorSUP* fará com que o seu subconjunto passe a violar a meta de *Equilíbrio de satisfação*;

- 3.11. Dentre as inspeções restantes, escolher aquela na qual o inspetor pontua menos para sua satisfação:
Caso não haja inspeções empatadas nesse critério, definir a *inspeção de troca* e seguir para o *passo 3.12*;
Caso haja empate, escolher, dentre as inspeções restantes, uma de forma aleatória para ser a *inspeção de troca* e seguir para o *passo 3.12*;
- 3.12. Caso o agrupamento *INF* esteja vazio, seguir para o *passo 3.18*;
Caso o agrupamento *INF* não esteja vazio, seguir para o *passo 3.13*;
- 3.13. Com *inspeção de troca* já definida, levantar todos os inspetores do agrupamento *INF* que se encontram aptos a realizar a inspeção:
Caso não se encontre ninguém apto, seguir para o *passo 3.18*;
Caso contrário, seguir para o passo abaixo;
- 3.14. Dentre os inspetores levantados, descartar aqueles que já fazem parte da equipe;
Caso não se reste ninguém apto, seguir para o *passo 3.18*;
Caso contrário, seguir para o passo abaixo;
- 3.15. Dentre os inspetores restantes, escolher aquele que trará o melhor desempenho para o custo total:
Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorINF* e seguir para o *passo 3.38*;
Caso haja empate, selecionar os inspetores onde isso ocorreu e seguir para o *passo 3.16*;
- 3.16. Dentre os inspetores restantes, escolher aquele que trará o melhor desempenho para a satisfação média global;
Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorINF* e seguir para o *passo 3.38*;
Caso haja empate, selecionar os inspetores onde isso ocorreu e seguir para o *passo 3.17*;
- 3.17. Dentre os inspetores restantes, escolher aquele que está mais distante de alcançar sua *Carga de trabalho mínima mensal*:
Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorINF* e seguir para o *passo 3.38*;
Caso haja empate, escolher, dentre os inspetores restantes, um de forma aleatória para ser o *inspetorINF* e seguir para o *passo 3.38*;
- 3.18. Com *inspeção de troca* já definida, levantar todos os inspetores que não pertencem ao agrupamento *SUP* e que se encontram aptos a realizar a *inspeção de troca*;

- 3.19. Dentre os inspetores levantados, descartar aqueles que já fazem parte da equipe de *inspeção de troca*;

Os *passos 3.20, 3.21 e 3.22* podem ser executados em qualquer ordem e podem ser relaxados conforme método descrito no início do capítulo:

- 3.20. Dentre os inspetores restantes, vetar aqueles cuja entrada na inspeção fará com que o candidato a *inspetorINF* passe a violar sua *Carga de trabalho máxima mensal*;

- 3.21. Dentre os inspetores restantes, vetar aqueles cuja entrada na inspeção fará com que seu grupo passe a violar a meta de *Equilíbrio de carga de trabalho*;

- 3.22. Dentre os inspetores restantes, vetar aqueles cuja entrada na inspeção fará com que o seu subconjunto passe a violar a meta de *Equilíbrio de satisfação*;

- 3.23. Dentre os inspetores restantes, vetar aqueles cuja entrada na inspeção fará com que ele passe a violar sua *Carga de trabalho máxima mensal*, o que o tornaria membro do agrupamento *SUP* (tal restrição começa rígida, mas pode ser flexibilizada nos casos em que iterações sucessivas não produzam mais melhoria na solução. Nesse caso, esse inspetor escolhido como *inspetorINF* passará a pertencer ao agrupamento *SUP*. Nas novas iterações esse inspetor poderá então ceder sua vaga numa outra inspeção sem a necessidade de violar a *Carga de trabalho máxima mensal* do futuro candidato a *inspetorINF*);

- 3.24. Dentre os inspetores restantes, escolher aquele que trará o melhor desempenho para o custo total:

Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorINF* e seguir para o *passo 3.38*;

Caso haja empate, selecionar os inspetores onde isso ocorreu e seguir para o *passo 3.25*;

- 3.25. Dentre os inspetores restantes, escolher aquele que trará o melhor desempenho para a satisfação média global;

Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorINF* e seguir para o *passo 3.38*;

Caso haja empate, selecionar os inspetores onde isso ocorreu e seguir para o *passo 3.26*;

- 3.26. Dentre os inspetores restantes, escolher aquele que está mais distante de alcançar sua *Carga de trabalho máxima mensal*:

Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorINF* e seguir para o *passo 3.38*;

Caso haja empate, escolher, dentre os inspetores restantes, um de forma aleatória para ser o *inspetorINF* e seguir para o *passo 3.38*;

- 3.27. Caso o agrupamento *INF* se encontre vazio, retornar ao *passo 3.2*;
Caso contrário, seguir para o passo abaixo;
- 3.28. Escolher, de forma aleatória, um dos inspetores do agrupamento *INF* como *inspetorINF*;
- 3.29. Levantar todas as inspeções programadas existentes no referido mês cujo tipo *inspetorINF* se encontra apto a realizar;
- 3.30. Dentre as inspeções levantadas, descartar aquelas das quais *inspetorINF* já faz parte da equipe e aquelas que se encontram na tabela Tabu;
- Os *passos 3.31, 3.32 e 3.33* podem ser executados em qualquer ordem e podem ser relaxados conforme método descrito no início do capítulo:
- 3.31. Dentre as inspeções restantes, vetar aquelas cuja entrada do *inspetorINF* fará com que o seu grupo passe a violar a meta de *Equilíbrio de carga de trabalho*;
- 3.32. Dentre as inspeções restantes, vetar aquelas cuja entrada do *inspetorINF* fará com que o seu subconjunto passe a violar a meta de *Equilíbrio de satisfação*;
- 3.33. Dentre as inspeções restantes, vetar as vagas cuja saída do candidato a *inspetorSUP* fará com que esse passe a violar ou agravar uma de suas *Metas individuais de inspeções anuais por tipo de atividades*;
- 3.34. Dentre as vagas restantes, vetar aquelas cuja saída do candidato a *inspetorSUP* fará com que esse passe a violar sua *Carga de trabalho mínima mensal*, o que o tornaria membro do agrupamento *INF* (tal restrição começa rígida, mas pode ser flexibilizada nos casos em que iterações sucessivas não produzam mais melhoria na solução. Nesse caso, esse inspetor escolhido como *inspetorSUP* passará a pertencer ao agrupamento *INF*. Nas novas iterações esse inspetor poderá então entrar numa outra inspeção sem a necessidade de violar a *Carga de trabalho mínima mensal* do futuro candidato a *inspetorSUP*);
- 3.35. Dentre as vagas restantes, escolher aquela que trará o melhor desempenho para o custo total:
Caso não haja vagas empatadas nesse critério, definir a *inspeção de troca* e o *inspetorSUP* e seguir para o *passo 3.38*;
Caso haja empate, selecionar as vagas onde isso ocorreu e seguir para o *passo 3.36*;
- 3.36. Dentre as vagas restantes, escolher aquela que trará o melhor desempenho para a satisfação média global;

Caso não haja vagas empatadas nesse critério, definir a *inspeção de troca* e o *inspetorSUP* e seguir para o *passo 3.38*;

Caso haja empate, selecionar as vagas onde isso ocorreu e seguir para o *passo 3.37*;

3.37. Dentre as vagas restantes, escolher aquela cujo candidato a *inspetorSUP* esteja mais distante da sua *Carga de trabalho mínima mensal*:

Caso não haja vagas empatadas nesse critério, definir a *inspeção de troca* e o *inspetorSUP* e seguir para o *passo 3.38*;

Caso haja empate, escolher, dentre as vagas restantes, uma de forma aleatória, definir a *inspeção de troca* e o *inspetorSUP* e seguir para o *passo 3.38*;

3.38. Com *inspeção de troca*, *inspetorINF* e *inspetorSUP* definidos, realizar a troca, recalcular todos os valores que podem ser afetados com o troca, verificar se *inspetorINF* já pode sair do agrupamento *INF* (caso pertença atualmente a ele), verificar se *inspetorSUP* já pode sair do agrupamento *SUP* (caso pertença atualmente a ele), verificar se *inspetorINF* passa ou não a integrar o agrupamento *SUP* (caso ele não pertença atualmente ao agrupamento *INF*), verificar se *inspetorSUP* passa ou não a integrar o agrupamento *INF* (caso ele não pertença atualmente ao agrupamento *SUP*), e retornar ao *passo 3.2*;

Bloco 4:

4. Meta de equilíbrio de carga de trabalho

Restrições que podem ser flexibilizadas no momento em que iterações sucessivas apresentam o mesmo resultado:

- *Metas individuais de inspeções anuais por tipo de atividade*
- *Carga de trabalho mínima mensal individual*
- *Carga de trabalho máxima mensal individual*
- *Equilíbrio de carga de trabalho dentro do grupo*
- *Equilíbrio de satisfação dentro do subconjunto*

$$h = \{1a;1b;2a;2b;\dots;Ha;Hb\} \quad h_{inicial} = 1^a$$

4.1. Levantar, para o h -ésimo grupo, as cargas de trabalho máxima e mínima encontradas entre os seus inspetores membros;

4.2. Caso a diferença entre as cargas de trabalho máxima e mínima satisfaça a restrição de equilíbrio de carga de trabalho do grupo e $h = Hb$, encerrar a execução do bloco;

Caso a diferença entre as cargas de trabalho máxima e mínima satisfaça a restrição de equilíbrio de carga de trabalho do grupo e $h \neq Hb$, voltar para o *passo 4.1*, com h assumindo seu próximo valor;

Caso contrário, seguir para o passo abaixo, com *flag CMAX_saturado = falso*;

4.3. Verificar o estado do *flag CMAX_saturado*:

Caso *flag CMAX_saturado = falso*, seguir para o passo 4.4;

Caso *flag CMAX_saturado = verdadeiro*, seguir para o passo 4.19;

4.4. Levantar todos os inspetores do grupo que estão com a maior carga de trabalho;

Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorCMAX* e seguir para o passo 4.8;

Caso haja empate, selecionar os inspetores onde isso ocorreu e seguir para o passo 4.5;

4.5. Dentre os inspetores restantes, levantar os tipos de inspeção onde cada um constitui equipe ao menos uma vez. Dentre os tipos de cada inspetor, levantar o tipo em que cada um mais excede a sua *Meta individual de inspeções anuais* correspondente, excluindo os tipos de inspeções já contidas na *tabela de tipos de inspeções já analisadas para o inspetor*;

4.6. Dentre o tipo de inspeção levantado para cada inspetor restante, escolher aquele que esteja mais distante da respectiva *Meta individual de inspeções anuais*:

Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorCMAX*, *tipo de inspeção de troca*, e seguir para o passo 4.9;

Caso haja empate, selecionar os inspetores e seus respectivos tipos de inspeção onde isso ocorreu e seguir para o passo 4.7;

Caso não sobre nenhum tipo de inspeção para escolher para nem ao menos um dos inspetores, fazer *flag CMAX_saturado = verdadeiro*, e retornar para o passo 4.3;

4.7. Dentre o tipo de inspeção levantado para cada inspetor restante, escolher o inspetor que apresenta a menor pontuação de satisfação dentre as suas respectivas inspeções do tipo, excluindo as inspeções já contidas na *tabela de inspeções já analisadas para o inspetor*:

Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorCMAX*, *tipo de inspeção de troca*, *inspeção de troca* e seguir para o passo 4.10;

Caso haja empate, escolher, dentre os inspetores restantes, um de forma aleatória para ser o *inspetorCMAX*, com seus respectivos *tipo de inspeção de troca* e *inspeção de troca*, e seguir para o passo 4.10;

Caso não sobre nenhuma inspeção para escolher para nem ao menos um dos inspetores, incluir o tipo de inspeção correspondente na *tabela de tipos de inspeções já analisadas para o inspetor*, e retornar para passo 4.5;

4.8. Com *inspetorCMAX* definido, levantar o tipo de inspeção em que *inspetorCMAX* mais excede a sua *Meta individual de inspeções anuais*, excluindo os tipos de inspeções já contidas na *tabela de tipos de inspeções já analisadas para o inspetor*:

Caso não haja tipo de inspeções empatadas nesse critério, definir *tipo de inspeção de troca*, e seguir para o *passo 4.9*;

Caso haja empate, selecionar os tipos de inspeção onde isso ocorreu e seguir para o *passo 4.9*;

Caso não sobre nenhum tipo de inspeção para escolher, fazer *flag CMAX_saturado = verdadeiro*, e retornar para o *passo 4.3*;

- 4.9. Dentre os tipos de inspeção restantes, escolher aquele tipo que apresenta a inspeção de menor pontuação de satisfação para *inspetorCMAX*, excluindo as inspeções já contidas na *tabela de inspeções já analisadas para o inspetor*:

Caso não haja inspeções empatadas nesse critério, definir *inspeção de troca* e *tipo de inspeção de troca* (caso esse último ainda não tenha sido definido), e seguir para o *passo 4.10*;

Caso haja empate, escolher, dentre as inspeções restantes, uma de forma aleatória para ser a *inspeção de troca*, definir *tipo de inspeção de troca* (caso ainda não tenha sido definida), e seguir para o *passo 4.10*;

Caso não sobre nenhuma inspeção para escolher, incluir o(s) tipo(s) de inspeção correspondente na *tabela de tipos de inspeções já analisadas para o inspetor*, e retornar para *passo 4.5*;

- 4.10. Com *inspetorCMAX*, *tipo de inspeção de troca* e *inspeção de troca* definidos, levantar todos os inspetores (independente do grupo) que estão aptos a realizar esse tipo de inspeção;

Os *passos 4.11, 4.12 e 4.13* podem ser executados em qualquer ordem e podem ser relaxados conforme método descrito no início do capítulo:

- 4.11. Dentre os inspetores restantes, vetar aqueles cuja entrada na *inspeção de troca* fará com que o seu grupo passe a violar a meta de *Equilíbrio de carga de trabalho*;

- 4.12. Dentre os inspetores restantes, vetar aqueles cuja entrada na inspeção de troca fará com que o seu subconjunto passe a violar a meta de *Equilíbrio de satisfação*;

- 4.13. Dentre os inspetores restantes, vetar aqueles cuja entrada na *inspeção de troca* fará com que ele passe a violar sua *Carga de trabalho máxima mensal*;

- 4.14. Caso não sobre nenhum inspetor para escolher, incluir *inspeção de troca* na *tabela de tipos de inspeções já analisadas para o inspetor* do *inspetorCMAX*, e retornar para *passo 4.8*;

Caso contrário, seguir para o passo abaixo;

- 4.15. Dentre os inspetores restantes, escolher aquele que trará o melhor desempenho para o custo total:
Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorCINF* e seguir para o *passo 4.18*;
Caso haja empate, selecionar os inspetores onde isso ocorreu e seguir para o *passo 4.16*;
- 4.16. Dentre os inspetores restantes, escolher aquele que trará o melhor desempenho para a satisfação média global;
Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorCINF* e seguir para o *passo 4.18*;
Caso haja empate, selecionar os inspetores onde isso ocorreu e seguir para o *passo 4.17*;
- 4.17. Dentre os inspetores restantes, escolher aquele que está mais distante de alcançar sua *Carga de trabalho máxima mensal*:
Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorCINF* e seguir para o *passo 4.18*;
Caso haja empate, escolher, dentre os inspetores restantes, um de forma aleatória para ser o *inspetorCINF* e seguir para o *passo 4.18*;
- 4.18. Com *inspeção de troca*, *inspetorCMAX* e *inspetorCINF* definidos, realizar a troca, recalculando todos os valores que podem ser afetados com a troca, e retornar ao *passo 4.2*;
- 4.19. Levantar todos os inspetores do grupo que estão com a menor carga de trabalho (Sem a possibilidade de reduzir a carga de trabalho do inspetor ou dos inspetores do grupo que estão com a maior carga de trabalho, deve-se partir para o aumento da carga de trabalho dos que estão com a menor carga de trabalho):
Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorCMIN* e seguir para o *passo 4.25*;
Caso haja empate, selecionar os inspetores onde isso ocorreu e seguir para o *passo 4.20*;
- 4.20. Dentre os inspetores restantes, levantar, para cada um, as inspeções que eles se encontram aptos a realizar;
- 4.21. Dentre as inspeções levantadas para cada inspetor, descartar aquelas das quais o inspetor já faz parte da equipe;
- Os *passos 4.22 e 4.23* podem ser executados em qualquer ordem e podem ser relaxados conforme método descrito no início do capítulo:
- 4.22. Dentre as inspeções restantes para cada inspetor, vetar aquelas cuja entrada do inspetor candidato a *inspetorCMIN* fará com que o seu subconjunto passe a violar a meta de *Equilíbrio de satisfação*;

- 4.23. Dentre as inspeções restantes para cada inspetor, vetar aquelas cuja entrada do inspetor candidato a *inspetorCMIN* fará com que ele passe a violar sua *Carga de trabalho máxima mensal*;
- 4.24. Dentre as inspeções restantes para cada inspetor, escolher a inspeção que traz a maior satisfação para seu candidato a *inspetorCMIN*;
Caso não haja inspeções empatadas nesse critério, definir *inspetorCMIN*, *inspeção de troca*, e seguir para o *passo 4.25*;
Caso haja empate, escolher, dentre os inspetores restantes, um de forma aleatória para ser o *inspetorCMIN*, definir *inspeção de troca* e seguir para o *passo 4.25*;
- 4.25. Com *inspetorCMIN* e *inspeção de troca* de trocas definidos, levantar todos os inspetores atuais da inspeção;
- 4.26. Dentre os inspetores levantados, escolher aquele que trará o melhor desempenho para o custo total:
Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorCSUP* e seguir para o *passo 4.29*;
Caso haja empate, selecionar os inspetores onde isso ocorreu e seguir para o *passo 4.27*;
- 4.27. Dentre os inspetores restantes, escolher aquele que trará o melhor desempenho para a satisfação média global;
Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorCSUP* e seguir para o *passo 4.29*;
Caso haja empate, selecionar os inspetores onde isso ocorreu e seguir para o *passo 4.28*;
- 4.28. Dentre os inspetores restantes, escolher aquele que está mais distante da sua *Carga de trabalho mínima mensal*:
Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorCSUP* e seguir para o *passo 4.29*;
Caso haja empate, escolher, dentre os inspetores restantes, um de forma aleatória para ser o *inspetorCSUP* e seguir para o *passo 4.29*;
- 4.29. Com *inspeção de troca*, *inspetorCMIN* e *inspetorCSUP* definidos, realizar a troca, recalculando todos os valores que podem ser afetados com a troca, e retornar ao *passo 4.2*;

Bloco 5:

5. Meta da satisfação homogênea

Restrições que podem ser flexibilizadas no momento em que iterações sucessivas apresentam o mesmo resultado:

- *Metas individuais de inspeções anuais por tipo de atividade*
- *Carga de trabalho mínima mensal individual*
- *Carga de trabalho máxima mensal individual*
- *Equilíbrio de carga de trabalho dentro do grupo*
- *Equilíbrio de satisfação dentro do subconjunto*

$$q = \{1;2;\dots;H\} \quad q_{inicial} = 1$$

5.1. Levantar, para o q -ésimo subconjunto, a satisfação máxima e a mínima encontradas entre os seus inspetores membros;

5.2. Caso a diferença entre a satisfação máxima e a mínima cumpra a restrição de equilíbrio de satisfação do subconjunto e $q = H$, encerrar a execução do bloco;

Caso diferença entre a satisfação máxima e a mínima cumpra a restrição de equilíbrio de satisfação do subconjunto e $q < H$, voltar para o *passo 5.1*, com $q = q + 1$;

Caso contrário, seguir para o passo abaixo, com *flag SMIN_saturado = falso*;

5.3. Verificar o estado do *flag SMIN_saturado*:

Caso *flag SMIN_saturado = falso*, seguir para o *passo 5.4*;

Caso *flag SMIN_saturado = verdadeiro*, seguir para o *passo 5.29*;

5.4. Levantar todos os inspetores do subconjunto que estão com a menor satisfação;

Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorSMIN* e seguir para o *passo 5.5*;

Caso haja empate, escolher, dentre os inspetores restantes, um de forma aleatória para ser o *inspetorSMIN* e seguir para o *passo 5.5*;

5.5. Caso a carga de trabalho de *inspetorSMIN* seja maior que a carga de trabalho do seu grupo, seguir para o *passo 5.15*;

Caso a carga de trabalho de *inspetorSMIN* seja menor ou igual a carga de trabalho do seu grupo, seguir para o *passo 5.6*;

5.6. Levantar todas as inspeções programadas do ano nas quais *inspetorSMIN* se encontra apto a realizar;

O *passo 5.7* pode ser relaxado conforme método descrito no início do capítulo:

- 5.7. Dentre as inspeções restantes, vetar aquelas cuja entrada de *inspetorSMIN* fará com que ele passe a violar sua *Carga de trabalho máxima mensal*;
- 5.8. Caso não sobre nenhuma inspeção para escolher, fazer *flag SMIN_saturado = verdadeiro*, e retornar para *passo 5.3*;
Caso contrário, seguir para o passo abaixo;
- 5.9. Dentre as inspeções restantes, escolher a inspeção que traz a maior satisfação para *inspetorSMIN*;
Caso não haja inspeções empatadas nesse critério, definir *inspeção de troca*, e seguir para o *passo 5.10*;
Caso haja empate, escolher, dentre as inspeções restantes, uma de forma aleatória para ser a *inspeção de troca*, e seguir para o *passo 5.10*;
- 5.10. Com *inspetorSMIN* e *inspeção de troca* de trocas definidos, levantar todos os inspetores atuais da inspeção;
- 5.11. Dentre os inspetores levantados, escolher aquele que trará o melhor desempenho para o custo total:
Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorSSUP* e seguir para o *passo 5.14*;
Caso haja empate, selecionar os inspetores onde isso ocorreu e seguir para o *passo 5.12*;
- 5.12. Dentre os inspetores restantes, escolher aquele que trará o melhor desempenho para a satisfação média global;
Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorSSUP* e seguir para o *passo 5.14*;
Caso haja empate, selecionar os inspetores onde isso ocorreu e seguir para o *passo 5.13*;
- 5.13. Dentre os inspetores restantes, escolher aquele que está mais distante de sua *Carga de trabalho mínima mensal*:
Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorSSUP* e seguir para o *passo 5.14*;
Caso haja empate, escolher, dentre os inspetores restantes, um de forma aleatória para ser o *inspetorSSUP* e seguir para o *passo 5.14*;
- 5.14. Com *inspeção de troca*, *inspetorSMIN* e *inspetorSSUP* definidos, realizar a troca, recalculando todos os valores que podem ser afetados com a troca, e retornar ao *passo 5.2*;
- 5.15. Levantar todas as inspeções programadas do ano as quais *inspetorSMIN* faz parte da equipe;

Os passos 5.16 e 5.17 podem ser executados em qualquer ordem e podem ser relaxados conforme método descrito no início do capítulo:

5.16. Dentre as inspeções restantes, vetar aquelas cuja saída de *inspetorSMIN* fará com que ele passe a violar uma de suas *Metas individuais de inspeções anuais por tipo de atividade*;

5.17. Dentre as inspeções restantes, vetar aquelas cuja saída de *inspetorSMIN* fará com que ele passe a violar sua *Carga de trabalho mínima mensal*;

5.18. Caso não sobre nenhuma inspeção para escolher, fazer *flag SMIN_saturado = verdadeiro*, e retornar para *passo 5.3*;
Caso contrário, seguir para o passo abaixo;

5.19. Dentre as inspeções restantes, escolher a inspeção que traz a menor satisfação para *inspetorSMIN*;
Caso não haja inspeções empatadas nesse critério, definir *inspeção de troca*, e seguir para o *passo 5.20*;
Caso haja empate, escolher, dentre as inspeções restantes, uma de forma aleatória para ser a *inspeção de troca*, e seguir para o *passo 5.20*;

5.20. Com *inspetorSMIN* e *inspeção de troca* definidos, levantar todos os inspetores aptos a realizar a inspeção e que já não façam parte da equipe;

Os passos 5.21, 5.22 e 5.23 podem ser executados em qualquer ordem e podem ser relaxados conforme método descrito no início do capítulo:

5.21. Dentre os inspetores restantes, vetar aqueles cuja entrada na *inspeção de troca* fará com que o seu grupo passe a violar a meta de *Equilíbrio de carga de trabalho*;

5.22. Dentre os inspetores restantes, vetar aqueles cuja entrada na *inspeção de troca* fará com que o seu subconjunto passe a violar a meta de *Equilíbrio de satisfação*;

5.23. Dentre os inspetores restantes, vetar aqueles cuja entrada na *inspeção de troca* fará com que esse passe a violar sua *Carga de trabalho máxima mensal*;

5.24. Caso não sobre nenhum inspetor para escolher, fazer *flag SMIN_saturado = verdadeiro*, e retornar para *passo 5.3*;
Caso contrário, seguir para o passo abaixo;

- 5.25. Dentre os inspetores restantes, escolher aquele que trará o melhor desempenho para o custo total:
Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorSINF* e seguir para o passo 5.28;
Caso haja empate, selecionar os inspetores onde isso ocorreu e seguir para o passo 5.26;
- 5.26. Dentre os inspetores restantes, escolher aquele que trará o melhor desempenho para a satisfação média global;
Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorSINF* e seguir para o passo 5.28;
Caso haja empate, selecionar os inspetores onde isso ocorreu e seguir para o passo 5.27;
- 5.27. Dentre os inspetores restantes, escolher aquele que está mais distante de alcançar sua *Carga de trabalho máxima mensal*:
Caso não haja inspetores empatados nesse critério, definir *inspetorSINF* e seguir para o passo 5.28;
Caso haja empate, escolher, dentre os inspetores restantes, um de forma aleatória para ser o *inspetorSINF* e seguir para o passo 5.28;
- 5.28. Com *inspeção de troca*, *inspetorSMIN* e *inspetorSINF* definidos, realizar a troca, recalculando todos os valores que podem ser afetados com a troca, e retornar ao passo 5.2;
- 5.29. Realizar, para a busca de *inspetorSMAX*, o mesmo procedimento estabelecido para a busca de *inspetorSMIN*, com a diferença de se ter como objetivo reduzir a satisfação do inspetor e não aumentá-la. Fazendo essa modificação, retornar para o passo 5.4;

Bloco 6:

6. Final da iteração do algoritmo

- 6.1. Considerando que todos os blocos (2, 3, 4 e 5) já foram executados, verificar se a solução alcançada atende todas as restrições do problema;
Caso não tenha sobrado nenhuma violação de restrição, considera-se a **iteração atual como a solução final para o problema**;
Caso contrário, seguir para o passo abaixo;
- 6.2. Caso tenha sobrado pelo menos uma violação de restrição e seja ainda a primeira iteração do algoritmo, executar novamente todos os blocos, só que de agora em diante na ordem inversa (do tipo de restrição menos importante até a mais importante);

- 6.3. Caso tenha sobrado pelo menos uma violação de restrição e seja pelo menos a segunda iteração já concluída, o seguinte critério deve ser estabelecido para comparar a solução alcançada nessa iteração com a obtida na iteração anterior (critério adotado para considerar que se trata de uma boa solução, ou pelo menos uma solução melhor que a alcançada na iteração anterior):
- 6.4. Ordenar os tipos de restrições de acordo com a ordem de importância já estabelecida antes do início da execução do algoritmo, excluindo os tipos de restrições contidos na *tabela_violações_analisadas*;
- 6.5. Caso o tipo de restrição da vez seja *Metas individuais de inspeções anuais por tipo de atividade*, seguir para o *passo 6.6*;
Caso o tipo de restrição da vez seja *Carga de trabalho mínima mensal individual*, seguir para o *passo 6.8*;
Caso o tipo de restrição da vez seja *Carga de trabalho máxima mensal individual*, seguir para o *passo 6.9*;
Caso o tipo de restrição da vez seja *Equilíbrio de carga de trabalho dentro do grupo*, seguir para o *passo 6.10*;
Caso o tipo de restrição da vez seja *Equilíbrio de satisfação dentro do subconjunto*, seguir para o *passo 6.11*;
- 6.6. Levantar a soma da quantidade de atividades que faltou para cada meta não cumprida e comparar com o valor encontrado na iteração anterior:
Caso não haja empate nesse critério, escolher como solução a iteração que apresentou o menor valor nessa soma, e seguir para o *passo 6.12*;
Caso haja empate, e esse não seja o último tipo de restrição sob análise, incluí-lo na *tabela_violações_analisadas*, e retornar ao *passo 6.4*;
Caso haja empate, e esse seja o último tipo de restrição sob análise, seguir para o *passo 6.7*;
- 6.7. Levantar a quantidade de violações atingidas para esse tipo de restrição e comparar com a quantidade da iteração anterior:

Caso não haja empate nesse critério, escolher como solução a iteração que apresentou a maior quantidade de violações – significando mais violações, porém com os inspetores (ou grupos ou subconjuntos) em média mais próximos de terem cumprido individualmente a restrição em questão – e seguir para o *passo 6.12*;
Caso haja empate, escolher como solução a iteração atual, e seguir para o *passo 6.12*;
- 6.8. Levantar a soma dos dias que faltaram para cada limite mínimo não cumprido e comparar com o valor encontrado na iteração anterior:

Caso não haja empate nesse critério, escolher como solução a iteração que apresentou o menor valor nessa soma, e seguir para o *passo 6.12*;

Caso haja empate, e esse não seja o último tipo de restrição sob análise, incluí-lo na *tabela_violações_analisadas*, e retornar ao *passo 6.4*;

Caso haja empate, e esse seja o último tipo de restrição sob análise, seguir para o *passo 6.7*;

- 6.9. Levantar a soma dos dias que passaram para cada limite máximo não cumprido e comparar com o valor encontrado na iteração anterior:

Caso não haja empate nesse critério, escolher como solução a iteração que apresentou o menor valor nessa soma, e seguir para o *passo 6.12*;

Caso haja empate, e esse não seja o último tipo de restrição sob análise, incluí-lo na *tabela_violações_analisadas*, e retornar ao *passo 6.4*;

Caso haja empate, e esse seja o último tipo de restrição sob análise, seguir para o *passo 6.7*;

- 6.10. Levantar a diferença entre a carga de trabalho máxima e mínima de todos os grupos que violaram sua meta de equilíbrio. Subtrair desse valor, a meta que foi estabelecida para o grupo. Somar todos esses valores finais e comparar com a mesma soma encontrada na iteração anterior:

Caso não haja empate nesse critério, escolher como solução a iteração que apresentou o menor valor nessa soma, e seguir para o *passo 6.12*;

Caso haja empate, e esse não seja o último tipo de restrição sob análise, incluí-lo na *tabela_violações_analisadas*, e retornar ao *passo 6.4*;

Caso haja empate, e esse seja o último tipo de restrição sob análise, seguir para o *passo 6.7*;

- 6.11. Levantar a diferença entre a satisfação máxima e mínima de todos os subconjuntos que violaram sua meta de satisfação. Subtrair desse valor, a meta que foi estabelecida para o subconjunto. Somar todos esses valores finais e comparar com a mesma soma encontrada na iteração anterior:

Caso não haja empate nesse critério, escolher como solução a iteração que apresentou o menor valor nessa soma, e seguir para o *passo 6.12*;

Caso haja empate, e esse não seja o último tipo de restrição sob análise, incluí-lo na *tabela_violações_analisadas*, e retornar ao *passo 6.4*;

Caso haja empate, e esse seja o último tipo de restrição sob análise, seguir para o *passo 6.7*;

- 6.12. Caso a solução escolhida seja a solução da iteração anterior, considera-se a **iteração anterior como a solução final do problema**;

Caso contrário, **iniciar uma nova iteração do algoritmo** (blocos 2, 3, 4, e 5 conforme ordem decrescente de importância).

6.3 Heurística Construtiva para as Inspeções Demandadas

Para o caso das inspeções sob demanda, como a alocação de inspetores precisa ser feita diária ou semanalmente, tem-se um universo de soluções bem menor que no caso das inspeções programadas. Com isso, a heurística construtiva aplicada no caso das programadas pode, com os devidos ajustes, principalmente devido à função objetivo passar a ter dois objetivos, ser perfeitamente utilizada para o caso das demandadas.

As adaptações que precisam ser feitas em relação à heurística proposta para as inspeções programadas são as seguintes:

- (1) As restrições de *Carga de trabalho mínima mensal individual* e *Carga de trabalho máxima mensal individual* deixam de existir, e consequentemente o bloco 2 do algoritmo também;
- (2) A restrição de *Metas individuais de inspeções anuais por tipo de atividade* deixa de se restrição e passa a ser o segundo parâmetro da função objetivo multicritério, conforme já descrito na seção 5.2.2. Com isso, o bloco 3 do algoritmo também deixa de existir;
- (3) Para o bloco 1 do algoritmo (solução de início), deve-se substituir a busca da equipe que soma a maior satisfação possível em realizar determina inspeção pela busca da equipe que maximiza a contribuição dessa inspeção para a função objetivo, ou seja, que maximiza o resultado da soma da parcela referente à satisfação somada da equipe, multiplicada pelo peso previamente definido, com a parcela referente a redução percentual da quantidade de metas em aberto, multiplicada pelo peso complementar;
- (4) Os blocos de equilíbrio de carga de trabalho (bloco 4) e de equilíbrio de satisfação (bloco 5) precisam da mesma modificação feita no bloco de solução de início (bloco 1), ou seja:
 - a. Onde estiver mencionado escolher o inspetor da equipe que tem a maior ou menor satisfação para dada inspeção, isso deve ser alterado para escolher o inspetor que tem a maior ou menor valor somado das suas duas parcelas de contribuição para a função objetivo. O mesmo raciocínio vale para o caso de inspetores que passarão a compor a equipe de uma dada inspeção.
 - b. Onde estiver mencionado “melhor desempenho para a satisfação média global”, alterar para “melhor desempenho para a função objetivo”, ou seja, dentre as possibilidades restantes, escolher aquela cuja troca dos inspetores fará com que a contribuição do novo inspetor seja a maior possível, aumentando ao máximo o valor da contribuição daquela inspeção para o valor da função objetivo (maximização), ou, não havendo tal possibilidade, escolher a troca que trará a menor perda de contribuição da inspeção para o valor da função objetivo.

7 Avaliação da Heurística Desenvolvida

7.1 Testes Realizados

Para concretizar todo o algoritmo de escala proposto no *capítulo 6*, fez-se o uso do *software* Microsoft Excel 2016, juntamente com seu recurso de desenvolvimento de macros de programação na linguagem VBA (*Visual Basic for Applications*). Como banco de dados, utilizou-se as inspeções programadas pela SPO para o ano de 2017, totalizando 915 inspeções nacionais com 93 inspetores disponíveis.

Conforme descrito na *seção 6.2*, os blocos do algoritmo que combatem às violações das restrições do problema podem ser executados em qualquer ordem, a depender da importância dada pela ANAC/SPO a cada um deles.

Conforme descrito no *capítulo 3* e formulado matematicamente no *capítulo 5*, os seguintes parâmetros de equilíbrio de satisfação e de carga de trabalho foram estabelecidos para o problema: $S_{dif} = 10\% = 0,1$; $D_{dif_{ins}} = 10 \text{ dias}$; e $D_{dif_{pil}} = 10 \text{ dias}$.

Vale lembrar que tais parâmetros de equilíbrio podem assumir quaisquer valores, sendo algo discricionário e baseado na experiência do tomador de decisão, ou ainda baseado numa decisão conjunta com os inspetores, inclusive podendo haver diferença de valores entre os grupos e subconjuntos.

Quanto ao limite de carga trabalho mensal, estipulou-se um máximo de 15 dias por mês para todos os inspetores. Tal valor foi reduzido para 10, 5 ou mesmo 0 para simular férias, a depender de se ela foi tirada de uma só vez, ou dividida em 2 ou 3 parcelas (Foi endereçado um terço dos inspetores para cada situação, com uma distribuição uniforme entre os meses). Já a carga de trabalho mínima mensal dependeu de fatores como: férias, quantidade de inspeções existentes e quem se encontra apto para realizar cada uma delas, além da influência do tomador decisão, no caso, o gestor direto do grupo. Para o exemplo trabalhado, os valores variaram entre 0 e 5 dias.

Para as metas anuais dos inspetores, que são individualizadas por tipo de inspeção, fez-se uma conta simples de quantas inspeções do tipo havia no ano e quantos inspetores se encontravam aptos a integrar as equipes. Para tornar o exemplo mais rico, estipulou-se para alguns tipos de inspeção a meta mais arrojada possível, ou seja, fazendo a meta de cada inspetor ser o resultado da multiplicação do total de atividades do ano pelo tamanho da equipe, tudo isso dividido pela quantidade de inspetores aptos a realizá-las. Já para outros tipos de inspeção, definiu-se valores que permitissem flexibilidade aos inspetores para atuarem nas atividades que mais lhe agradassem.

Finalmente, conforme já descrito no *capítulo 3*, e já explicado no *capítulo 5*, a impossibilidade da coleta real de preferência dos inspetores fez com que essas fossem simuladas através de um gerador de números aleatórios, considerando os seguintes pontos:

- (1) Os destinos foram divididos em 4 partes, de acordo com o número de inspeções a ocorrer em cada unidade federativa do Brasil. Cada conjunto desse foi então ordenado separadamente, resultando em 4 *rankings* de preferência de destino por inspetor;
- (2) Já para os tipos de atividades houve apenas a necessidade de um tipo de segregação: um *ranking* para os tipos de atividades de certificação e outro para os tipos classificados como fiscalização. Lembrando que todas as inspeções programadas são atividades exclusivamente de fiscalização;
- (3) Finalmente, o peso que o inspetor dá para a importância relativa do destino em relação ao tipo de atividade foi definido da seguinte forma: Como dentro da SPO/ANAC, uma maior preferência dos inspetores pela localidade em relação ao tipo de atividade é notória, os valores dos pesos para o localização da inspeção foram gerados de forma aleatória e de forma independente para cada inspetor, porém com um valor mínimo de 50% (50% significando igual importância para os dois critérios, enquanto 100% representando que o inspetor só está interessado no localidade onde acontecerá a inspeção, não importando o tipo de atividade a ser desenvolvida).

A fim de se testar o desempenho e o resultado alcançado pelo mecanismo de escala proposto, duas configurações para o ordenamento de importância foram estabelecidas: uma baseada na intuição (*seção 7.2*) e uma segunda priorizando a busca pela satisfação homogênea, seguida pelo balanceamento da carga de trabalho anual (*seção 7.3*). Nessa segunda configuração uma estratégia adicional também foi simulada. Estreitamentos momentâneos nos limites das duas restrições de equilíbrio (satisfação e carga de trabalho) foram adotados ao se executar o respectivo bloco, com o intuito de ganhar margem para que perturbações posteriores dos outros blocos não fossem suficientes para causar uma infração da restrição original de equilíbrio, almejando-se assim uma convergência mais rápida, com menos iterações.

Além disso, outros 3 tipos de teste foram realizados: Novos quadros de preferência foram criados, com dois novos sorteios de preferências – *seção 7.4*; Busca do menor intervalo de tolerância possível de se alcançar via algoritmo, especificamente para os critérios de equilíbrio (satisfação e carga de trabalho) – *seção 7.5* e *seção 7.6*; Análise preliminar de sensibilidade para os critérios de equilíbrio – *seção 7.7* e *seção 7.8*.

7.2 Metas individuais e Limite de Carga de Trabalho Mensal como Prioridades

Para o primeiro uso do mecanismo de escala de inspetores, considerou-se o seguinte *ranking* de importância para os tipos de restrição:

- (1) *Metas individuais de inspeções anuais por tipo de atividade* (restrição mais importante);
- (2) *Carga de trabalho máxima mensal individual*;
- (3) *Equilíbrio de carga de trabalho dentro do grupo*;
- (4) *Equilíbrio de satisfação dentro do subconjunto*;
- (5) *Carga de trabalho mínima mensal individual* (restrição menos importante).

Com essa mesma configuração sendo utilizada para o ordenamento dos relaxamentos internos de cada bloco de eliminação de restrição, e seguindo o fluxo de execução apresentado na **Figura 3**, os seguintes resultados foram alcançados:

Tabela 1. Resultados das interações da heurística seguindo a estratégia da seção 7.2

Iteração (I) Início (F) - Final	Bloco Executado	Custo Total (parametrizado)	Satisfação Média Global (%)	Nº de Violações				
				(1) Meta Anual	(2) Carga Mensal Mínima	(3) Carga Mensal Máxima	(4) Equilíbrio Carga de Trabalho (por grupo)	(5) Equilíbrio Satisfação (por subconjunto)
1ª iteração (I)	Solução Inicial	761.974,00	82,43	133	196	44	10	7
	Metas Anuais	1.140.365,00	72,55	0	89	30	6	7
	Carga Mensal Máxima	1.140.533,00	72,55	2	89	0	6	7
	Eq. Carga de Trabalho	1.299.924,00	71,07	1	89	1	1	7
	Eq. Satisfação	1.215.332,00	75,80	83	85	10	3	1
1ª iteração (F)	Meta Mensal Mínima	1.323.377,00	74,42	79	0	10	3	3
2ª iteração (I)	Eq. Satisfação	1.305.464,00	74,67	76	8	10	3	1
	Eq. Carga de Trabalho	1.320.909,00	74,31	76	9	10	0	3
	Carga Mensal Máxima	1.323.894,00	74,47	76	9	0	1	4
2ª iteração (F)	Metas Anuais	1.373.753,00	72,16	0	27	5	2	6
3ª iteração (F)		1.371.224,00	71,96	0	30	1	3	4
4ª iteração (F)		1.338.849,00	71,85	0	1	0	2	4
5ª iteração (F)		1.345.144,00	70,74	0	11	0	1	4
6ª iteração (F)		1.342.862,00	70,58	0	0	5	0	2
7ª iteração (F)		1.339.100,00	70,56	0	0	0	0	2
8ª iteração (F)		1.367.364,00	69,86	0	0	0	0	1

Na execução do bloco *Solução Inicial* (bloco 1 da seção 6.2), das 915 atividades, nenhuma acabou tendo sua equipe totalmente definida após a aplicação do critério de minimizar custo. Houve sempre mais pessoas empatadas do que vagas remanescentes (que podem ser todas as vagas, caso haja mais inspetores de custo mínimo do que o tamanho da equipe, ou pode ser também um empate no segundo ou terceiro menor custo, onde os inspetores de custo menor não foram suficientes para preencher todas as vagas). Seguindo então para o segundo critério, o de maximizar a satisfação, 762 equipes foram totalmente definidas, e, finalmente, 153 atividades precisaram de sorteio para definir suas últimas vagas entre os inspetores que ficaram empatados nos dois primeiros critérios.

Na 9ª iteração o resultado se manteve, mostrando que a solução atingiu seu valor final, com uma violação de equilíbrio de satisfação. Tal violação aconteceu no subconjunto COEX e, após ser investigada, constatou-se que por ser um subconjunto muito pequeno e com poucas atividades, a configuração das preferências dos seus membros acabou inviabilizando o alcance de uma diferença de satisfação menor do que 10%. Com isso, conclui-se que a solução final para o problema, na prática, não apresentou nenhuma violação de restrição.

As **Tabela 2** e

Tabela 3 mostram o resultado alcançado para cada grupo e subconjunto.

Tabela 2. Resultado final da Carga de Trabalho de cada grupo de inspetores seguindo a estratégia da seção 7.2

Grupo	Carga Trabalho (em dias)	Desvio Máximo de Carga de Trabalho (em dias)	Nº de Violações				
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CAA-PIL	Sem atividades	-	0	0	0	0	0
CCTA-PIL	14,17	2	0	0	0	0	0
COEX-INS	3,5	4	0	0	0	0	1
GCTA-INS	55,57	8	0	0	0	0	0
GCTA-PIL	40,30	9,5	0	0	0	0	0
GOAG-INS	21,50	5,5	0	0	0	0	0
GOAG-PIL	32,85	7	0	0	0	0	0
GTAP-INS	56	3	0	0	0	0	0
GTFH-INS	8,33	2	0	0	0	0	0
GTFH-PIL	20	0	0	0	0	0	0
IIAC-INS	97,5	6	0	0	0	0	0
IIAC-PIL	100,5	2	0	0	0	0	0
LING-INS	19,5	1	0	0	0	0	0
LING-PIL	27	0	0	0	0	0	0
MIGR-INS	2,94	-	-	-	0	-	-
MIGR-PIL	0,67	-	-	-	0	-	-

Tabela 3. Resultado final da Satisfação de cada subconjunto de inspetores seguindo a estratégia da seção 7.2

Subconjunto	Satisfação (%)	Desvio Máximo de Satisfação (%)	Nº de Violações				
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CAA	Sem atividades	-	0	0	0	0	0
CCTA	73,41	1,09	0	0	0	0	0
COEX	78,54	22,5	0	0	0	0	1
GCTA	69,52	9,70	0	0	0	0	0
GOAG	66,67	9,89	0	0	0	0	0
GTAP	76,79	0,47	0	0	0	0	0
GTFH	65,94	8,86	0	0	0	0	0
COFAC	71,22	9,74	0	0	0	0	0

PROFLING	83,35	4,73	0	0	0	0	0
MIGR	68,20	-	-	-	0	-	-

Entre os inspetores que não pertencem a SPO (MIGR-INS e MIGR-PIL), eles alcançaram uma satisfação média de 68,20%, participando de um total de 30 atividades de um universo de 915. O inspetor que mais foi utilizado foi escalado para um total de 6 atividades, enquanto 17 dos 30 inspetores não precisaram ser escalados para nenhuma atividade.

7.3 Estratégia para convergir mais rápido

Conforme pôde-se notar na seção anterior, a convergência para uma solução final 100% viável ou com pouquíssimas violações pode se tornar um processo relativamente lento, com um bloco geralmente trazendo de volta algumas restrições eliminadas pelos blocos anteriores. Entretanto, uma maneira de tornar essa convergência mais rápida, é manipular, de forma conveniente, as restrições de equilíbrio, nomeadamente as restrições de equilíbrio de satisfação e equilíbrio de carga de trabalho.

Toda vez que um desses dois blocos for entrar em execução, uma estratégia que se pode adotar é estreitar os seus parâmetros de restrição, ou seja, ser ainda mais rigoroso com a diferença aceita entre a máximo e o mínimo. Em um primeiro momento, tal estratégia fará com que o bloco precise de muito mais ciclos para alcançar seu objetivo. Entretanto, tal consumo de tempo e processamento é compensado posteriormente.

Quando os outros blocos tiverem que ser novamente executados, muitas vezes suas alterações de solução não serão suficientes para perturbar os equilíbrios de satisfação e carga de trabalho a ponto de eles voltarem a infringir os limites originais de desvio. Com isso, além de uma convergência em menos iterações, o resultado final tende a apresentar vários grupos e subconjuntos com equilíbrio melhor do que o mínimo estipulado como aceitável. É claro que tal estratégia tem um limite. Não se pode estreitar a restrição de equilíbrio à vontade, conforme demonstrado na *seção 7.5* e na *seção 7.6*. Um valor suficientemente baixo pode inviabilizar seu alcance e até mesmo piorar a solução, com o algoritmo tentando atingir algo não factível. Outro fator importante é que se pode pagar um preço na satisfação geral por essa agilidade.

Como exemplo prático da estratégia descrita acima, a **Tabela 4** apresenta o resultado para o caso de redução de S_{dif} , $D_{dif_{ins}}$ e $D_{dif_{pil}}$ para, respectivamente, 8%, 8 dias e 8 dias, toda vez que seus blocos foram executados.

Ordem de prioridade adotada:

- (1) *Equilíbrio de satisfação dentro do subconjunto* (restrição mais importante);;
- (2) *Equilíbrio de carga de trabalho dentro do grupo*
- (3) *Metas individuais de inspeções anuais por tipo de atividade*
- (4) *Carga de trabalho máxima mensal individual;*
- (5) *Carga de trabalho mínima mensal individual* (restrição menos importante).

Tabela 4. Resultados das interações da heurística seguindo a estratégia da seção 7.3

Iteração (I) Início (F) - Final	Bloco Executado	Custo Total (parametrizado)	Satisfação Média Global (%)	Nº de Violações				
				(1) Meta Anual (2) Carga Mensal Mínima (3) Carga Mensal Máxima (4) Equilíbrio Carga de Trabalho (por grupo) (5) Equilíbrio Satisfação (por subconjunto)	(1)	(2)	(3)	(4)
1ª iteração (I)	Solução Inicial	761.974,00	82,16	135	196	44	10	7
	Eq. Satisfação	982.538,00	80,66	121	147	26	6	1
	Eq. Carga de Trabalho	1.363.480,00	72,98	97	99	25	1	4
	Metas Anuais	1.313.168,00	69,47	0	81	19	5	4
	Carga Mensal Máxima	1.310.321,00	69,66	7	4	82	5	4
1ª iteração (F)	Meta Mensal Mínima	1.316.460,00	69,33	7	4	0	4	4
2ª iteração (I)	Carga Mensal Máxima	1.314.749,00	69,42	7	0	0	4	4
	Metas Anuais	1.316.089,00	69,51	0	2	0	4	4
	Eq. Carga de Trabalho	1.321.342,00	69,29	4	6	2	0	4
2ª iteração (F)	Eq. Satisfação	1.319.776,00	69,56	25	37	9	3	1
3ª iteração (F)		1.325.067,00	69,14	10	21	4	0	1
4ª iteração (F)		1.350.811,00	68,01	0	0	0	0	1

Após o término da 4ª iteração do algoritmo (ver **Tabela 4**), a única violação que restou foi a do subgrupo COEX, que, conforme já discutido na *seção 7.2*, não teria como ser superada. Com isso, pode-se considerar que, nesse caso, a solução atendeu a todas as restrições impostas.

Constata-se claramente que a estratégia de reduzir momentaneamente as metas de equilíbrio de satisfação e carga de trabalho fez com que a solução convergisse mais rapidamente do que na situação anterior. Todavia, a satisfação média alcançada ficou ligeiramente menor, caindo de 69,86% para 68,01%, que foi o preço que se pagou por se trabalhar com restrições momentaneamente mais agressivas para as restrições de equilíbrio. Além disso, também se aumentou de 30 para 44 o número de atividades com a presença de pelo menos 1 inspetor pertencente ao subconjunto MIGR.

As **Tabela 5** e

Tabela 6 mostram o resultado alcançado para cada grupo e subconjunto.

Tabela 5. Resultado final da Carga de Trabalho de cada grupo de inspetores seguindo a estratégia da seção 7.3

Grupo	Carga Trabalho (em dias)	Desvio Máximo de Carga de Trabalho (em dias)	Nº de Violações				
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CAA-PIL	Sem atividades	-	0	0	0	0	0
CCTA-PIL	16,5	3	0	0	0	0	0
COEX-INS	3,5	4	0	0	0	0	1
GCTA-INS	50,29	3,5	0	0	0	0	0
GCTA-PIL	47,2	9	0	0	0	0	0
GOAG-INS	22,36	8	0	0	0	0	0
GOAG-PIL	32,15	5,5	0	0	0	0	0
GTAP-INS	56,5	1	0	0	0	0	0
GTFH-INS	10	2	0	0	0	0	0
GTFH-PIL	15	0	0	0	0	0	0
IIAC-INS	101	2	0	0	0	0	0
IIAC-PIL	95,67	5	0	0	0	0	0
LING-INS	20,25	0,5	0	0	0	0	0
LING-PIL	27	0	0	0	0	0	0
MIGR-INS	3,60	-	-	-	0	-	-
MIGR-PIL	2,52	-	-	-	0	-	-

Tabela 6. Resultado final da Satisfação de cada subconjunto de inspetores seguindo a estratégia da seção 7.3

Subconjunto	Satisfação (%)	Desvio Máximo de Satisfação (%)	Nº de Violações				
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CAA	Sem atividades	-	0	0	0	0	0
CCTA	77,04	8,4	0	0	0	0	0
COEX	78,54	22,5	0	0	0	0	1
GCTA	64,64	7,96	0	0	0	0	0
GOAG	62,65	7,92	0	0	0	0	0
GTAP	76,09	0,21	0	0	0	0	0
GTFH	70,24	5,55	0	0	0	0	0
COFAC	65,68	7,93	0	0	0	0	0
PROFLING	87,22	7,93	0	0	0	0	0
MIGR	70,66	-	-	-	0	-	-

Entre os inspetores que não pertencem a SPO (MIGR-INS e MIGR-PIL), eles alcançaram uma satisfação média de 70,66%, participando de um total de 44 atividades. O inspetor que mais foi utilizado foi escalado para um total de 9 atividades, enquanto 9 dos 30 inspetores não precisaram ser escalados para nenhuma atividade.

7.4 Novas Configurações de Preferências dos Inspetores

Nessa seção são apresentados os resultados obtidos com a simulação de duas novas configurações de preferências, considerando os mesmos parâmetros e ordem de importância definidos para o exemplo da *seção 7.2*. Tais configurações foram obtidas de forma aleatória, seguindo exatamente os mesmos procedimentos descrito na *seção 7.1*.

7.4.1 Segunda Configuração de Preferências

Após o segundo sorteio de preferências e aplicando o algoritmo com a mesma ordem de importância estabelecida na *seção 7.2*, a **Tabela 7** apresenta a evolução das iterações até o alcance da solução final.

Tabela 7. Resultados das interações da heurística seguindo a estratégia da *seção 7.2* para um SEGUNDO sorteio de preferências

Iteração (I) Início (F) - Final	Bloco Executado	Custo Total (parametrizado)	Satisfação Média Global (%)	Nº de Violações				
				(1) Meta Anual (2) Carga Mensal Mínima (3) Carga Mensal Máxima (4) Equilíbrio Carga de Trabalho (por grupo) (5) Equilíbrio Satisfação (por subconjunto)	(1)	(2)	(3)	(4)
1ª iteração (I)	Solução Inicial	761.974,00	83,64	135	188	38	9	6
	Metas Anuais	972.043,00	75,58	0	106	24	10	6
	Carga Mensal Máxima	986.264,00	75,89	1	107	0	8	6
	Eq. Carga de Trabalho	1.063.639,00	73,76	1	103	4	0	6
	Eq. Satisfação	1.072.624,00	77,66	61	87	8	3	1
1ª iteração (F)	Meta Mensal Mínima	1.152.011,00	77,08	55	0	8	3	1
2ª iteração (I)	Eq. Satisfação	1.152.011,00	77,08	55	0	8	3	1
	Eq. Carga de Trabalho	1.162.072,00	77,08	55	3	8	0	1
	Carga Mensal Máxima	1.164.022,00	77,11	55	3	0	0	2
2ª iteração (F)	Metas Anuais	1.185.774,00	75,15	0	25	2	4	4
3ª iteração (F)		1.208.778,00	75,36	0	20	0	1	2
4ª iteração (F)		1.206.861,00	75,06	0	6	0	0	1
5ª iteração (F)		1.208.536,00	75,41	0	3	0	0	1
6ª iteração (F)		1.209.536,00	75,30	0	3	0	0	1
7ª iteração (F)		1.209.512,00	75,40	0	3	0	0	1
8ª iteração (F)		1.210.019,00	75,41	0	2	0	0	1

A partir da 8ª iteração, o algoritmo não conseguiu mais melhorar a solução. Com isso, o resultado final apresentou uma violação de equilíbrio de satisfação e duas violações de carga mínima de trabalho mensal, sendo esse último tipo o de menor importância para o exemplo. A violação da satisfação foi mais uma vez no subconjunto COEX e pelo mesmo motivo já externado na *seção 7.2* e *seção 7.3*.

Examinando com detalhes as duas violações de carga mensal de trabalho mensal, a primeira ocorreu com um inspetor do grupo GOAG-INS, no mês de julho, e por uma diferença de 0,5 dia (menor valor possível); já a segunda aconteceu com o mesmo inspetor, só que dessa vez no mês de setembro, e pela mesma diferença de 0,5 dia. Diante

disso, pode-se facilmente considerar a solução encontrada como de muito boa qualidade, com duas violações residuais e na meta de menor importância.

As **Tabela 8** e **Tabela 9** mostram o resultado alcançado para cada grupo e subconjunto.

Tabela 8. Resultado final da Carga de Trabalho de cada grupo de inspetores seguindo a estratégia da seção 7.2 para um SEGUNDO sorteio de preferências

Grupo	Carga Trabalho (em dias)	Desvio Máximo de Carga de Trabalho (em dias)	Nº de Violações				
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CAA-PIL	13,75	2,5	0	0	0	0	0
CCTA-PIL	16,16	4	0	0	0	0	0
COEX-INS	6	4	0	0	0	0	1
GCTA-INS	36,43	7	0	0	0	0	0
GCTA-PIL	46,6	9,5	0	0	0	0	0
GOAG-INS	21,64	2,5	0	2	0	0	0
GOAG-PIL	35,15	10	0	0	0	0	0
GTAP-INS	56,25	0,5	0	0	0	0	0
GTFH-INS	8,67	4	0	0	0	0	0
GTFH-PIL	17,5	6	0	0	0	0	0
IIAC-INS	86,5	10	0	0	0	0	0
IIAC-PIL	104,5	2	0	0	0	0	0
LING-INS	15	9	0	0	0	0	0
LING-PIL	15	0	0	0	0	0	0
MIGR-INS	8,28	-	-	-	0	-	-
MIGR-PIL	3,85	-	-	-	0	-	-

Tabela 9. Resultado final da Satisfação de cada subconjunto de inspetores seguindo a estratégia da seção 7.2 para um SEGUNDO sorteio de preferências

Subconjunto	Satisfação (%)	Desvio Máximo de Satisfação (%)	Nº de Violações				
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CAA	99,89	0	0	0	0	0	0
CCTA	85,05	1,09	0	0	0	0	0
COEX	87,12	22,5	0	0	0	0	1
GCTA	80,24	9,92	0	0	0	0	0
GOAG	68,95	9,47	0	2	0	0	0
GTAP	62,05	4,68	0	0	0	0	0
GTFH	81,04	8,86	0	0	0	0	0
COFAC	68,70	10,61	0	0	0	0	0
PROFLING	91,15	4,70	0	0	0	0	0
MIGR	71,22	-	-	-	0	-	-

Entre os inspetores que não pertencem a SPO (MIGR-INS e MIGR-PIL), eles alcançaram uma satisfação média de 71,22%, participando de um total de 48 atividades. O inspetor que mais foi utilizado foi escalado para um total de 10 atividades, enquanto 10 dos 30 inspetores não precisaram ser escalados para nenhuma atividade.

7.4.2 Terceira Configuração de Preferências

Após o terceiro sorteio de preferências e aplicando o algoritmo com a mesma ordem de importância estabelecida na *seção 7.2*, a **Tabela 10** apresenta a evolução das iterações até o alcance da solução final.

Tabela 10. Resultados das interações da heurística seguindo a estratégia da *seção 7.2* para um TERCEIRO sorteio de preferências

Iteração (I) Início (F) - Final	Bloco Executado	Custo Total (parametrizado)	Satisfação Média Global (%)	Nº de Violações				
				(1) Meta Anual (2) Carga Mensal Mínima (3) Carga Mensal Máxima (4) Equilíbrio Carga de Trabalho (por grupo) (5) Equilíbrio Satisfação (por subconjunto)	(1)	(2)	(3)	(4)
1ª iteração (I)	Solução Inicial	761.974,00	82,37	134	195	46	10	7
	Metas Anuais	1.143.990,00	74,65	0	101	32	7	7
	Carga Mensal Máxima	1.170.617,00	74,72	5	102	0	7	6
	Eq. Carga de Trabalho	1.296.328,00	74,29	3	99	6	0	6
	Eq. Satisfação	1.212.375,00	78,30	91	96	6	4	1
1ª iteração (F)	Meta Mensal Mínima	1.283.653,00	77,34	79	0	6	3	4
2ª iteração (I)	Eq. Satisfação	1.285.507,00	77,42	79	0	6	3	1
	Eq. Carga de Trabalho	1.298.486,00	77,39	76	13	7	0	2
	Carga Mensal Máxima	1.294.814,00	77,35	78	13	0	1	3
2ª iteração (F)	Metas Anuais	1.326.452,00	74,87	0	40	3	4	5
3ª iteração (F)		1.325.165,00	73,98	0	13	0	2	4
4ª iteração (F)		1.331.857,00	73,42	0	14	0	0	2
5ª iteração (F)		1.340.213,00	72,96	0	2	0	0	1
6ª iteração (F)		1.341.276,00	72,97	0	1	0	0	1

A partir da 6ª iteração, o algoritmo não conseguiu mais melhorar a solução. Com isso, o resultado final apresentou uma violação de equilíbrio de satisfação e uma violação de carga mínima de trabalho mensal, sendo esse último tipo o de menor importância para o exemplo. A violação da satisfação foi mais uma vez no subconjunto COEX e pelo mesmo motivo constatado na *seção 7.2*, *seção 7.3* e *seção 7.4.1*.

Examinando a violação de carga mensal de trabalho mensal, essa ocorreu com um inspetor do grupo GOAG-INS, porém não o mesmo inspetor da *seção 7.4.1*. A violação ocorreu no mês de julho, e pela menor diferença possível (0,5 dia).

As **Tabela 11** e **Tabela 12** mostram o resultado alcançado para cada grupo e subconjunto.

Tabela 11. Resultado final da Carga de Trabalho de cada grupo de inspetores seguindo a estratégia da seção 7.2 para um TERCEIRO sorteio de preferências

Grupo	Carga Trabalho (em dias)	Desvio Máximo de Carga de Trabalho (em dias)	Nº de Violações				
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CAA-PIL	Sem atividades	-	0	0	0	0	0
CCTA-PIL	13,83	3	0	0	0	0	0
COEX-INS	3,5	4	0	0	0	0	1
GCTA-INS	55,28	9,5	0	0	0	0	0
GCTA-PIL	38,25	5	0	0	0	0	0
GOAG-INS	21,71	7,5	0	1	0	0	0
GOAG-PIL	33,23	7,5	0	0	0	0	0
GTAP-INS	54,5	0	0	0	0	0	0
GTFH-INS	9	3	0	0	0	0	0
GTFH-PIL	17,75	0,5	0	0	0	0	0
IIAC-INS	96,5	2	0	0	0	0	0
IIAC-PIL	101,83	8	0	0	0	0	0
LING-INS	18,5	3	0	0	0	0	0
LING-PIL	27	0	0	0	0	0	0
MIGR-INS	7,18	-	-	-	0	-	-
MIGR-PIL	4	-	-	-	0	-	-

Tabela 12. Resultado final da Satisfação de cada subconjunto de inspetores seguindo a estratégia da seção 7.2 para um TERCEIRO sorteio de preferências

Subconjunto	Satisfação (%)	Desvio Máximo de Satisfação (%)	Nº de Violações				
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CAA	Sem atividades	-	0	0	0	0	0
CCTA	73,78	0,74	0	0	0	0	0
COEX	78,54	22,5	0	0	0	0	1
GCTA	76,80	9,95	0	0	0	0	0
GOAG	68,79	9,91	0	1	0	0	0
GTAP	77,27	0,65	0	0	0	0	0
GTFH	69,52	8,82	0	0	0	0	0
COFAC	70,68	9,63	0	0	0	0	0
PROFLING	87,64	9,18	0	0	0	0	0
MIGR	71,24	-	-	-	0	-	-

Entre os inspetores que não pertencem a SPO (MIGR-INS e MIGR-PIL), eles alcançaram uma satisfação média de 71,24%, participando de um total de 38 atividades. O inspetor que mais foi utilizado foi escalado para um total de 8 atividades, enquanto 15 dos 30 inspetores não precisaram ser escalados para nenhuma atividade.

7.5 Limite de Equilíbrio da Carga de Trabalho

Considerando que o tomador de decisão deseja estressar ao limite o melhor equilíbrio possível para a carga de trabalho de cada grupo, a presente seção utiliza as mesmas configurações da *seção 7.2*, exceto para o equilíbrio da carga de trabalho, que passa a ter prioridade absoluta. O objetivo foi descobrir, para tal exemplo, que intervalos são alcançados pelo algoritmo sob estudo, mantendo-se a busca pelo cumprimento das demais restrições.

Como passo inicial, fixou-se o desvio máximo de carga de trabalho entre dois inspetores de um mesmo grupo em 0,1 dia (Vale lembrar que as atividades têm duração entre 0,5 e 4 dias. As atividades de 5 dias são todas de certificação, não entrando, portanto, nas inspeções programadas). Tal estratégia foi adotada apenas para descobrir até que valor de desvio de carga de trabalho o algoritmo seria capaz de alcançar para cada grupo. O resultado desse processo é apresentado na **Tabela 13**:

Tabela 13. Resultado da busca pelo melhor desvio possível para a Carga de Trabalho de cada grupo de inspetores seguindo a estratégia da *seção 7.2*

Grupo	Carga Trabalho (em dias)	Carga Máxima de Trabalho (em dias)	Carga Mínima de Trabalho (em dias)	Desvio Máximo de Carga de Trabalho (em dias)
CAA-PIL	Sem atividades	0	0	-
CCTA-PIL	8,5	8,5	8,5	0
COEX-INS	4	4	4	0
GCTA-INS	54,71	55,5	54	1,5
GCTA-PIL	32,75	33,5	32,5	1
GOAG-INS	20,43	21,5	17,5	4
GOAG-PIL	24,69	25,5	24	1,5
GTAP-INS	54,5	54,5	54,5	0
GTFH-INS	9	9	9	0
GTFH-PIL	20	20	20	0
IIAC-INS	98	98	98	0
IIAC-PIL	99,5	99,5	99,5	0
LING-INS	16	16	16	0
LING-PIL	27	27	27	0
MIGR-INS	9,96	-	-	-
MIGR-PIL	13,37	-	-	-

Como pode-se observar, o algoritmo atingiu o equilíbrio total para a maioria dos grupos. Para os demais, a diferença entre a carga de trabalho anual máxima e mínima não ultrapassou em 1 unidade a quantidade de atividades de maior duração dentro do grupo.

Partindo-se então para uma nova simulação, estabelecendo os limites de equilíbrio de carga de trabalho recém encontrados como o mínimo aceitável, determinando a carga de trabalho como a restrição mais importante, e conservando-se as demais restrições e ordem

de preferências da *seção 7.2* (ex: $S_{dif}=10\%$), a **Tabela 14** apresenta a solução obtida, com o número de violações finais para cada tipo.

Tabela 14. Resultado final da heurística quando se almeja o melhor equilíbrio de Carga de Trabalho possível seguindo, exceto para carga de trabalho, a ordem de importância e preferências estabelecidas na *seção 7.2*

Prioridade	Custo Total (parametrizado)	Satisfação Média Global (%)	Nº de Violações				
			(1) Meta Anual	(2) Carga Mensal Mínima	(3) Carga Mensal Máxima	(4) Equilíbrio Carga de Trabalho (por grupo)	(5) Equilíbrio Satisfação (por subconjunto)
Melhor Equilíbrio de Carga de Trabalho possível	1.410.095,00	73,09	11	60	0	0	4

Tabela 15. Resultado final da Satisfação de cada subconjunto de inspetores quando se almeja o melhor equilíbrio de carga de trabalho possível, seguindo as premissas da *seção 7.5*

Subconjunto	Satisfação (%)	Desvio Máximo de Satisfação (%)	Nº de Violações				
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CAA	Sem atividades	-	0	0	0	0	0
CCTA	74,67	4,90	0	0	0	0	0
COEX	85,07	30,31	0	0	0	0	1
GCTA	75,09	9,97	9	9	0	0	0
GOAG	68,62	15,41	2	51	0	0	1
GTAP	77,02	0,01	0	0	0	0	0
GTFH	67,50	15,74	0	0	0	0	1
COFAC	71,85	16,12	0	0	0	0	1
PROFLING	82,24	1,69	0	0	0	0	0
MIGR	73,25	-	-	-	0	-	-

Em relação às violações de metas anuais, todas elas se deram pela diferença mínima de 1 atividade e sem nenhum inspetor ultrapassando mais de 2 violações individualmente. Já as 60 violações de carga mínima de trabalho mensal (violação de baixa importância), e as 4 violações de equilíbrio de satisfação, ficaram distribuídas conforme apresentado na **Tabela 15**.

7.6 Limite de Equilíbrio da Satisfação

Considerando agora que o tomador de decisão deseja a maior homogeneidade possível para a satisfação dos inspetores dentro dos subconjuntos, a presente seção utiliza as mesmas configurações da *seção 7.2*, exceto para o equilíbrio da satisfação (que passa a ter prioridade absoluta), para descobrir, para tal exemplo, que intervalos são alcançados pelo algoritmo sob estudo, mantendo-se a busca pelo cumprimento das demais restrições do problema.

De forma análoga ao realizado na *seção 7.5*, fixou-se o desvio máximo de satisfação entre dois inspetores de um mesmo subconjunto em 1%, com o mesmo objetivo de descobrir até que valor de desvio de satisfação o algoritmo seria capaz de alcançar para cada subconjunto. O resultado desse processo é apresentado na **Tabela 16**:

Tabela 16. Resultado da busca pelo melhor desvio possível para a Carga de Trabalho de cada grupo de inspetores seguindo a estratégia da *seção 7.2*

Subconjunto	Satisfação (%)	Satisfação Máxima (%)	Satisfação Mínima (%)	Desvio Máximo de Satisfação (%)
CAA	Sem atividades	0	0	-
CCTA	73,73	73,92	73,46	0,47
COEX	78,54	90,00	67,50	22,50
GCTA	72,78	73,18	72,25	0,93
GOAG	68,80	69,39	68,38	1,01
GTAP	76,79	77,03	76,56	0,47
GTFH	61,85	63,08	60,41	2,67
COFAC	65,01	65,38	64,39	0,99
PROFLING	84,75	86,00	83,64	2,36
MIGR	69,59	-	-	-

Conforme já esperado, o subconjunto COEX manteve um desvio de satisfação de 22,50%. Para os demais, o algoritmo encontrou desvios de fato baixos, imune a qualquer tipo de reclamação por parte dos inspetores.

Partindo-se então para uma nova simulação, estabelecendo os limites de equilíbrio de satisfação recém encontrados como o mínimo aceitável, definindo a satisfação como a restrição mais importante, e conservando-se as demais restrições e ordem de preferências da *seção 7.2* (ex: $D_{dif_{ins}}$ e $D_{dif_{pil}}$ iguais a 10 dias), a **Tabela 17** apresenta a solução obtida, com o número de violações finais para cada tipo.

Tabela 17. Resultado final da heurística quando se almeja o melhor equilíbrio de Satisfação possível seguindo, exceto para a satisfação, a ordem de importância e preferências estabelecidas na seção 7.2

Prioridade	Custo Total (parametrizado)	Satisfação Média Global (%)	Nº de Violações				
			(1) Meta Anual (2) Carga Mensal Mínima (3) Carga Mensal Máxima (4) Equilíbrio Carga de Trabalho (por grupo) (5) Equilíbrio Satisfação (por subconjunto)	(1)	(2)	(3)	(4)
Melhor Equilíbrio de Satisfação possível	1.372.029,00	71,19	23	46	0	1	1

Tabela 18. Resultado final da Carga de Trabalho de cada grupo de inspetores quando se almeja o melhor equilíbrio de satisfação possível, seguindo as premissas da seção 7.6

Grupo	Carga Trabalho (em dias)	Desvio Máximo de Carga de Trabalho (em dias)	Nº de Violações				
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CAA-PIL	Sem atividades	-	0	0	0	0	0
CCTA-PIL	14,33	2	0	0	0	0	0
COEX-INS	3,5	4	0	0	0	0	1
GCTA-INS	55,64	10	5	5	0	0	0
GCTA-PIL	38	13	9	8	0	1	0
GOAG-INS	20,57	8,5	2	13	0	0	0
GOAG-PIL	31,80	10	6	20	0	0	0
GTAP-INS	56	3	0	0	0	0	0
GTFH-INS	9	2	0	0	0	0	0
GTFH-PIL	19,50	1	0	0	0	0	0
IIAC-INS	99,5	8	0	0	0	0	0
IIAC-PIL	95,83	9	1	0	0	0	0
LING-INS	20	0	0	0	0	0	0
LING-PIL	23	0	0	0	0	0	0
MIGR-INS	6,54	-	-	-	0	-	-
MIGR-PIL	7,80	-	-	-	0	-	-

Em relação às violações de metas anuais, quase todas elas se deram pela diferença mínima de 1 atividade, exceto por 3 casos, onde a diferença chegou a 2. Nenhum inspetor extrapolou mais de 2 violações individualmente. A única violação de equilíbrio de carga de trabalho ocorreu no grupo GCTA-PIL, que excedeu em 3 dias o limite máximo de desvio de 10 dias. Já as 46 violações de carga mínima de trabalho mensal (violação de baixa importância) ficaram distribuídas conforme apresentado na

Tabela 18.

7.7 Análise de Sensibilidade para o Equilíbrio da Carga de Trabalho

Voltando-se novamente para situações sem extremos, ou seja, sem radicalizar na prioridade de nenhuma das duas restrições de equilíbrio, essa seção apresenta 3 testes de redução gradual do intervalo máximo aceito para o equilíbrio da carga de trabalho anual dos grupos. A finalidade desse processo foi apurar, de forma preliminar, qual a sensibilidade desse critério para a solução final obtida pela heurística desenvolvida.

Para se fazer esse comparativo, tomou-se novamente a configuração do problema adotado na seção 7.2 como ponto de partida. Lá, já se obteve o resultado para um intervalo máximo de 10 dias para cada grupo. A Tabela 19 mostra então qual a solução alcançada, caso se reduza esse parâmetro para 8, 5 e 2 dias respectivamente.

Tabela 19. Resultado final da heurística seguindo as premissas da seção 7.2, porém alterando-se o parâmetro de equilíbrio de Carga de Trabalho para os grupos

Desvio máximo de Equilíbrio de Carga de Trabalho (em dias)	Custo Total (parametrizado)	Satisfação Média Global (%)	Nº de Violações				
			(1) Meta Anual	(2) Carga Mensal Mínima	(3) Carga Mensal Máxima	(4) Equilíbrio Carga de Trabalho (por grupo)	(5) Equilíbrio Satisfação (por subconjunto)
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
$D_{dif_{ins}} = 10$ $D_{dif_{pil}} = 10$	1.367.364,00	69,86	0	0	0	0	1
$D_{dif_{ins}} = 8$ $D_{dif_{pil}} = 8$	1.373.674,00	71,98	0	1	0	1	1
$D_{dif_{ins}} = 5$ $D_{dif_{pil}} = 5$	1.363.652,00	71,25	0	3	0	1	1
$D_{dif_{ins}} = 2$ $D_{dif_{pil}} = 2$	1.383.390,00	71,41	1	0	0	4	1

Diante dos resultados encontrados, observa-se, conforme esperado, que o número de violações tende a subir quando se almeja um maior equilíbrio de carga de trabalho dentro dos grupos. Entretanto, o custo total e a satisfação média global se mostram não sensíveis às mudanças nesse parâmetro, inclusive ocorrendo ora melhoria ora piora nesses valores. A justificativa para tal comportamento é que, em qualquer troca de membro de equipe de uma inspeção, o algoritmo sempre prioriza uma melhoria nesses dois valores, ou, quando não é exequível, a menor perda possível.

Considerando o baixo número de novas violações que surgiram, mesmo quando se estreitou o desvio de carga de trabalho para 2 dias, ver-se que, diante do ganho substancial que se obteve no equilíbrio de carga de trabalho para a maioria dos grupos, é perfeitamente factível conviver com essas poucas infrações adicionais, inclusive algumas delas sendo do próprio critério, ou seja, sendo apenas um insucesso na tentativa de melhorar o equilíbrio de carga de trabalho e não o aparecimento propriamente dito de novas violações. Porém, a palavra final de qual solução teve o melhor custo-benefício será sempre do(s) tomador(es) de decisão da ANAC/SPO.

7.8 Análise de Sensibilidade para o Equilíbrio da Satisfação

Adotando-se uma abordagem análoga a da *seção 7.7*, a presente seção apresenta 3 testes realizados na execução da heurística sob estudo, com o teste subsequente sempre fixando um menor valor para o desvio máximo de satisfação aceitável dentro dos subconjuntos. O objetivo dessa iniciativa foi, assim como na seção anterior, apurar, de forma preliminar, qual a sensibilidade desse critério para a solução final obtida pelo algoritmo.

Para se fazer esse comparativo, assumiu-se mais uma vez como ponto de partida, a configuração do problema empregado na *seção 7.2*. Lá, já se obteve o resultado para um intervalo máximo de satisfação de 10% para cada subconjunto. A **Tabela 20** mostra então quais soluções foram alcançadas com esse parâmetro assumindo, respectivamente, os valores de 8%, 5% e 2%.

Tabela 20. Resultado final da heurística seguindo as premissas da *seção 7.2*, porém alterando-se o parâmetro de equilíbrio de Satisfação para os subconjuntos

Desvio máximo de Equilíbrio de Satisfação (%)	Custo Total (parametrizado)	Satisfação Média Global (%)	Nº de Violações				
			(1) Meta Anual	(2) Carga Mensal Mínima	(3) Carga Mensal Máxima	(4) Equilíbrio Carga de Trabalho (por grupo)	(5) Equilíbrio Satisfação (por subconjunto)
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
$S_{dif} = 10$	1.367.364,00	69,86	0	0	0	0	1
$S_{dif} = 8$	1.374.434,00	71,09	0	2	0	1	2
$S_{dif} = 5$	1.385.455,00	71,85	2	0	0	0	1
$S_{dif} = 2$	1.389.690,00	72,60	9	20	0	0	3

Diante dos resultados encontrados, observa-se, conforme esperado, que o número de violações de maior importância tende a subir quando se almeja um maior equilíbrio de satisfação dentro dos subconjuntos. Entretanto, o custo total e a satisfação média global se mostram pouco sensíveis às mudanças nesse parâmetro, com o custo sempre tendo pequenos incrementos (algo ruim), assim como a satisfação média global (algo bom). Entretanto, mais testes precisariam ser feitos para confirmar se de fato se trata de uma tendência, ou se foi apenas um comportamento exclusivo do exemplo trabalhado.

Considerando o baixo número de novas violações que surgiram até $S_{dif} = 5\%$, ver-se que, até esse patamar, é perfeitamente factível conviver com essas poucas infrações adicionais diante do ganho substancial que se obteve na satisfação homogênea dos subconjuntos. Todavia, como toda tentativa de estreitamento de equilíbrio possui um limite a partir do qual a solução começa a violar muitas restrições, para o caso de $S_{dif} = 2\%$, já se nota que essa fronteira começa a ser invadida.

8 Conclusões e Perspectivas de Trabalho Futuro

8.1 Conclusões

O principal objetivo desse trabalho foi propor uma solução para a complexa tarefa de alocar inspetores de aviação civil nas atividades externas de certificação e fiscalização realizadas pela Agência Nacional de Aviação Civil brasileira (ANAC), mais precisamente as inspeções que estão sob responsabilidade da Superintendência de Padrões Operacionais da agência (SPO).

Durante todo o projeto, ficou bastante claro que tão ou até mesmo mais importante do que propor uma solução, é mapear corretamente o problema, juntamente com o seu contexto. Um grande esforço por isso foi aplicado nessa fase do estudo, já que não adiantaria ter um bom mecanismo de solução para o problema errado.

Com um denso e detalhado mapeamento da realidade da escala de inspetores de aviação civil do Brasil, foi notório constatar a grande quantidade de particularidades do problema, o que levou ao entendimento de que uma solução de prateleira não seria adequada, além da questão do problema se caracterizar por ser NP-difícil.

Além de tudo isso, fez-se uma proposição pouco comum na literatura: a busca pela “satisfação homogênea” dos inspetores, através não só da busca pela máxima satisfação laboral possível, como também pelo equilíbrio entre todas as satisfações individuais.

Devido à pouca exploração acadêmica do tema de satisfação homogênea, a pesquisa bibliográfica foi focada em estudos de otimização que apresentassem o máximo de similaridade com o problema enfrentado pela ANAC. Diante dessa pesquisa, foi possível levantar diversas técnicas de otimização que poderiam ser adaptadas e aplicadas ao caso em estudo. Entretanto, mais uma vez demonstrando a importância da fase de mapeamento do problema e de seu contexto, a indisponibilidade de ferramentas profissionais (*softwares*) e de recursos computacionais avançados (grande capacidade de processamento) fez com que a busca por uma solução tivesse que ser ajustada à realidade encontrada.

Com o mapeamento sólido dos objetivos, das particularidades e das restrições do problema, fez-se então uma proposta de solução baseada em heurística construtiva e que pudesse ser implementada dentro da ferramenta Microsoft Excel, através do uso de rotinas programadas em VBA, ou ainda dentro dos sistemas informáticos da SPO, que são desenvolvidos em PHP.

Uma heurística construtiva foi então desenvolvida totalmente customizada para o problema sob estudo, apresentando resultados promissores, conforme demonstrado no

capítulo 7. Tais resultados trazem muito boas expectativas para testes mais intensos e robustos e para a adaptação da mesma heurística para o caso das inspeções sob demanda, que por falta de tempo hábil, acabou não sendo implementada dentro do cronograma.

Outra grande expectativa decorrente dos resultados encontrados é a aplicação real do algoritmo desenvolvido dentro da ANAC, mais especificamente na SPO, já no ano de 2019. Com a coleta das reais preferências dos inspetores, a ferramenta poderá então passar pelo seu maior desafio: ser testada e utilizada em uma situação real, sujeita às avaliações e críticas dos gestores e, principalmente, das pessoas diretamente envolvidas e afetadas, os inspetores.

Por fim, espera-se que o presente estudo seja de grande valia para a ANAC, e que a implementação do mecanismo de escala de inspetores de aviação civil desenvolvido nesse trabalho proporcione ganhos reais tanto na redução dos custos de deslocamentos quanto na melhoria da satisfação laboral dos inspetores.

8.2 Perspectivas de Trabalho Futuro

Como o tempo previsto para o desenvolvimento desse estudo foi insuficiente para a implementação de tudo que estava inicialmente planejado, seguem abaixo quais serão os próximos passos do projeto e as perspectivas de trabalho futuro:

- (1) Realizar mais testes na heurística desenvolvida;
- (2) Simular a aplicação da heurística desenvolvida para o problema das inspeções sob demanda;
- (3) Comparar o resultado obtido no presente estudo com o resultado que uma ferramenta profissional de otimização alcançaria;
- (4) Realizar o levantamento real das preferências dos inspetores quanto ao tipo de atividade e localização das inspeções;
- (5) Transcrever o mecanismo de escala atualmente codificado em VBA para PHP, para que se tenha a possibilidade de integrar o algoritmo aos sistemas informáticos atuais da SPO;
- (6) Fazer a primeira aplicação prática já em 2019, tendo como escopo as inspeções sob responsabilidade da SPO;
- (7) Adaptar o mecanismo de escala às demais superintendências da ANAC, após o mesmo se encontrar consolidado dentro da SPO.

Referências

- Abedinnia, H., Glock, C. H. & Brill, A. (2016). *New simple constructive heuristic algorithms for minimizing total flow-time in the permutation flowshop scheduling problem*. Computers & Operations Research, 74, pp.165-174.
- Afolabi L. O., Kehinde O. O., Taofeek-Ibrahim F. A., Toye T. N. & Kehinde O. A. (2017). *Developing an efficient optimization of course-lecturer distribution timetabling using transportation algorithm: a case study of federal polytechnic offa*. Journal of Generic Academia. School of General Studies, Federal Polytechnic Offa, Vol. 7 (1), pp. 62-73.
- Afshar-Nadjafi, B. & Afshar-Nadjafi, A. (2017). *A constructive heuristic for time-dependent multi-depot vehicle routing problem with time-windows and heterogeneous fleet*. Journal of King Saud University - Engineering Sciences, 29(1), pp.29-34.
- Ahmed, L. N., Özcan, E. & Kheiri, A. (2015). *Solving high school timetabling problems worldwide using selection hyper-heuristics*. Expert Systems with Applications, 42(13), pp.5463-5471.
- Al-Yakoob, S. M. & Sherali, H. (2013). *A column generation mathematical programming approach for a class-faculty assignment problem with preferences*. Computational Management Science, 12(2), pp.297-318.
- Al-Yakoob S. M & Sherali H. D. (2006). *Mathematical programming models and algorithms for a class-faculty assignment problem*. European Journal of Operational Research, 173(2), pp.488-507.
- Babaei, H., Karimpour, J. & Hadidi, A. (2015). *A survey of approaches for university course timetabling problem*. Computers & Industrial Engineering, 86, pp.43-59.
- Breslaw, J. A. (1976). *A linear programming solution to the faculty assignment problem*. Socio-Economic Planning Sciences, 10(6), pp.227-230.
- Domenech, B. & Lusa, A. (2016). *A MILP model for the teacher assignment problem considering teachers' preferences*. European Journal of Operational Research, 249(3), pp.1153-1160.
- Fernandez-Viagas, V. & Framinan, J. M. (2017). *A beam-search-based constructive heuristic for the PFSP to minimise total flowtime*. Computers & Operations Research, 81, pp.167-177.
- Hanafi, R. and Kozan, E. (2014). *A hybrid constructive heuristic and simulated annealing for railway crew scheduling*. Computers & Industrial Engineering, 70, pp.11-19.
- Kahar, M. & Kendall, G. (2010). *The examination timetabling problem at Universiti Malaysia Pahang: Comparison of a constructive heuristic with an existing software solution*. European Journal of Operational Research, 207(2), pp.557-565.

- McClure, R. H. & Wells, C. E. (1987). *Modeling multiple criteria in the faculty assignment problem*. Socio-Economic Planning Sciences, 21(6), pp.389-394.
- Nagano, M. S., Miyata, H. H. & Araújo, D. C. (2015). *A constructive heuristic for total flowtime minimization in a no-wait flowshop with sequence-dependent setup times*. Journal of Manufacturing Systems, 36, pp.224-230.
- Ozdemir, M. S. & Gasimov, R. (2004). *The analytic hierarchy process and multiobjective 0–1 faculty course assignment*. European Journal of Operational Research, 157(2), pp.398-408.
- Saviniec, L. & Constantino, A. A. (2017). *Effective local search algorithms for high school timetabling problems*. Applied Soft Computing, 60, pp.363-373.
- Saviniec, L., Santos, M. O. & Costa, A. M. (2018). *Parallel local search algorithms for high school timetabling problems*. European Journal of Operational Research, 265(1), pp.81-98.
- Shah, R. R., Tailor, B. M., Dhodiya, J. M. & Shah, D. V. (2018). *Preferences Based Decision Making Mathematical Model for Faculty Course Assignment using Linear and Exponential Membership Functions*. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 6(3), pp.3575-3587.
- Shiau, D. (2011). *A hybrid particle swarm optimization for a university course scheduling problem with flexible preferences*. Expert Systems with Applications, 38(1), pp.235-248.
- Skoullis, V. I., Tassopoulos, I. X. & Beligiannis, G. N. (2017). *Solving the high school timetabling problem using a hybrid cat swarm optimization based algorithm*. Applied Soft Computing, 52, pp.277-289.
- Soria-Alcaraz, J. A., Ochoa, G., Swan, J., Carpio, M., Puga, H. and Burke, E. K. (2014). *Effective learning hyper-heuristics for the course timetabling problem*. European Journal of Operational Research, 238(1), pp.77-86.
- Soria-Alcaraz, J. A., Özcan, E., Swan, J., Kendall, G. & Carpio, M. (2016). *Iterated local search using an add and delete hyper-heuristic for university course timetabling*. Applied Soft Computing, 40, pp.581-593.
- Tassopoulos, I. X. & Beligiannis, G. N. (2012). *Solving effectively the school timetabling problem using particle swarm optimization*. Expert Systems with Applications, 39(5), pp.6029-6040.

Bibliografia

- Abdelhalim, E. A. & El Khayat, G. A. (2016). *A Utilization-based Genetic Algorithm for Solving the University Timetabling Problem (UGA)*. Alexandria Engineering Journal, 55(2), pp.1395-1409.
- Allahverdi, A. & Aldowaisan, T. (2002). *New heuristics to minimize total completion time in m-machine flowshops*. International Journal of Production Economics, 77(1), pp.71-83.
- Badri, M. A., Davis, D. L., Davis, D. F. & Hollingsworth, J. (1998). *A multi-objective course scheduling model: Combining faculty preferences for courses and times*. Computers & Operations Research, 25(4), pp.303-316.
- Budish, E., Cachon, G. P., Kessler, J. B. & Othman, A. (2017). *Course match: A large-scale implementation of approximate competitive equilibrium from equal incomes for combinatorial allocation*. Operations Research, 65(2), pp.314-336.
- Demirović, E. and Musliu, N. (2017). *MaxSAT-based large neighborhood search for high school timetabling*. Computers & Operations Research, 78, pp.172-180.
- Do Carmo, P. F. B. (2017). *Modelos e técnicas de tomada de decisão em análise multicritério – aplicações em avaliação de imóveis*. XIX COBREAP, Foz do Iguaçu.
- Dyer J.S. (2005). *Maut — Multiattribute Utility Theory*. In: *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. International Series in Operations Research & Management Science, vol 78. Springer, New York.
- Elloumi, A., Kamoun, H., Jarboui, B. & Dammak, A. (2014). *The classroom assignment problem: Complexity, size reduction and heuristics*. Applied Soft Computing, 14, pp.677-686.
- Fonseca, G. H. & Santos, H. G. (2014). *Variable Neighborhood Search based algorithms for high school timetabling*. Computers & Operations Research, 52, pp.203-208.
- Framinan, J. & Leisten, R. (2003). *An efficient constructive heuristic for flowtime minimisation in permutation flow shops*. Omega, 31(4), pp.311-317.
- Hillier, F. S. & Lieberman, G. J. (2005). *Introduction to operations research*, 8th edn, McGraw-Hill, New York.
- Ismayilova, N. A., Sağır, M. & Gasimov, R. N. (2007). *A multiobjective faculty–course–time slot assignment problem with preferences*. Mathematical and Computer Modelling, 46(7-8), pp.1017-1029.
- Laha, D. & Chakraborty, U. K. (2008). *A constructive heuristic for minimizing makespan in no-wait flow shop scheduling*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 41(1-2), pp.97-109.

- Liu, J. & Reeves, C. R. (2001). *Constructive and composite heuristic solutions to the $P//\sum C_i$ scheduling problem*. European Journal of Operational Research, 132(2), pp.439-452.
- Moreira, A. M. P. & de Sousa, J. F. (2015). *Ferramenta de apoio à decisão para otimização e sequenciação de horários por turnos*. Dissertação de Mestrado, MESG/FEUP, Universidade do Porto, Porto.
- Neiva, B. S. & Gomes, L. F. A. M. (2007). *A aplicação da teoria da utilidade multiatributo à escolha de um software de e-procurement*. Revista Tecnologia, 28(2), pp.160-171.
- Ongy, E. E. (2017). *Optimizing student learning: a faculty-course assignment problem using linear programming*. Journal of Science, Engineering and Technology, Southern Leyte State University, 5(1-14), Leyte.
- Partovi, F. Y. & Arinze, B. (1995). A knowledge based approach to the faculty-course assignment problem. Socio-Economic Planning Sciences, 29(3), pp.245-256.
- Tassopoulos, I. X & Beligiannis, G. N. (2012). *A hybrid particle swarm optimization based algorithm for high school timetabling problems*. Applied Soft Computing, 12(11), pp.3472-3489.
- Tillett, P. (1975). *An operations research approach to the assignment of teachers to courses*. Socio-Economic Planning Sciences, 9(3-4), pp.101-104.

ANEXO A: Extrato das inspeções de certificação de responsabilidade da SPO

Grupo	Código da atividade	Título da atividade	Tamanho da Equipe	Duração média (em dias)
AVOP	AVOP-001	Inspeção de Avaliação Operacional de aeronaves do tipo “Catch Up” com necessidade de Visita Técnica	2	5
AVOP	AVOP-002	Inspeção de Avaliação Operacional de aeronaves – T1 – Teste de Equivalência Funcional	3	3
AVOP	AVOP-003	Inspeção de Avaliação Operacional de aeronaves – T2 – Teste de Qualidades de Voo	3	4
...
TAAP	TAAP-001	Inspeção de Certificação para Transporte de Artigos Perigosos	2	2
TAAP	TAAP-002	Inspeção de Certificação de Treinamento de Transporte Aéreo de Artigos Perigosos	1	1
TAAP	TAAP-003	Inspeção para Emissão de Aprovação / Isenção para Transporte de Artigos Perigosos	2	1
TAAP	TAAP-004	Exame para Credenciamento de Instrutor de Transporte Aéreo de Artigos Perigosos	1	1
TOTAL:	64 tipos de atividades de certificação			

ANEXO B: Extrato das inspeções de fiscalização de responsabilidade da SPO

Grupo	Código da atividade	Título da atividade	Tamanho da Equipe	Duração média (em dias)
...
IIAC	IIAC-501	Inspeção de Vigilância em Instituições de Instrução de Aviação Civil	2	2
IIAC	IIAC-502	Inspeção de Vigilância em Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional	2	2
...
O121	O121-508	Inspeção de Vigilância em Voo de Observação	1	1
O121	O121-509	Inspeção de Vigilância de Examinador Credenciado – CMS, MCV e DOV	1	1
...
O135	O135-501	Inspeção de Vigilância de Base Principal	2	3
O135	O135-502	Inspeção de Vigilância de Estação de Linha	2	3
OSAE	OSAE-501	Inspeção de Vigilância em Empresa SAE	2	2
RAMP	RAMP-501	Inspeção de Rampa – RBAC 91/121/135	3	0,5
RAMP	RAMP-502	Inspeção de Rampa – RBAC 129	3	0,5
...
TAAP	TAAP-505	Inspeção de Solo de Transporte de Artigos Perigosos	1	0,5
TOTAL:	43 tipos de atividades de fiscalização			

ANEXO C: Reprodução parcial da lista dos inspetores da SPO, com as atividades de inspeção que cada um se encontra simultaneamente qualificado e incumbido de realizar

Colaborador (ID)	Códigos das atividades
...	...
21	29;31;30;33;34;35
22	29;30;31;32;34;35;39
31	2;7;3;8;18;20;9;10;45; 47
38	7;3;18;9;10;45;47;29; 30;31;36;37;38
39	3;8;18;20;6;9;10;52; 45;47
...	...
57	2;3;18;9;10;45;47;29; 30;31;36;37;38;32;34; 35;39
...	...
80	29;30;31;33;34;35;32; 39;34;35
...	...
117	29;30;31;32;34;35;39
...	...
120	2;3;8;18;20;9;10;45; 47;29;30;31;32;34; 35;33;39;34;35
...	...
132	2;3;4;7;51
...	...
152	7;18;9;10;45
...	...
526	18;10;45;9;29;30;31; 33;34;35;36;37;38;32
...	...

ANEXO D: Grupos de Inspetores criados para a distribuição equilibrada de atividades de inspeção programada

Grupo de Inspetores	Gestor Responsável	Grupos de atividade sob responsabilidade do gestor	Quantidade de Inspetores	Inspetores pilotos? (0-não; 1-sim)
CAA-INS	CAA	AVOP	0	0
CAA-PIL	CAA	AVOP	2	1
CCTA-INS	CCTA	CTAC	0	0
CCTA-PIL	CCTA	CTAC	3	1
COEX-INS	COEX	EXAM	4	0
COEX-PIL	COEX	EXAM	0	1
GTFH-INS	GTFH	FFHH; IMED	3	0
GTFH-PIL	GTFH	FFHH; IMED	2	1
IIAC-INS	COFAC	IIAC	4	0
IIAC-PIL	COFAC	IIAC	3	1
LING-INS	PROFLING	LING	2	0
LING-PIL	PROFLING	LING	1	1
GCTA-INS	GCTA	O121; RAMP	7	0
GCTA-PIL	GCTA	O121; RAMP	10	1
GOAG-INS	GOAG	O135; OP91; OSAE; RAMP	7	0
GOAG-PIL	GOAG	O135; OP91; OSAE; RAMP	13	1
TAAP-INS	GTAP	TAAP	2	0
TAAP-PIL	GTAP	TAAP	0	1
MIGR-INS	-	-	18	0
MIGR-PIL	-	-	12	1

ANEXO E: Reprodução parcial da tabela parametrizada de custo médio de passagens aéreas para se deslocar entre duas cidades (uma delas cidade-sede)

Cidade de destino	Cidade-sede				
	Brasília (DF)	Recife (PE)	Rio de Janeiro (RJ)	Porto Alegre (RS)	São Paulo (SP)
...
Goiânia (GO)	494	1102	1017	1017	820
...
Juiz de Fora (MG)	1144	1282	0	1410	1126
...
Santarém (PA)	899	1901	2178	3125	1883
...
João Pessoa (PB)	1468	0	1251	2013	1867
...
Maringá (PR)	1217	1491	507	428	1257
...

ANEXO F: Quantidade de inspeções de fiscalização programadas (PTA) na SPO por ano (nacionais + internacionais)

Grupo	Código da atividade	Ano 2017		Grupo	Código da atividade	Ano 2017
CTAC	CTAC-501	5		O121	O121-508	0
CTAC	CTAC-502	3		O121	O121-509	79
CTAC	CTAC-503	6		O121	O121-510	10
CTAC	CTAC-504	10		O135	O135-501	41
EXAM	EXAM-501	0		O135	O135-502	0
EXAM	EXAM-502	3		O135	O135-503	10
FFHH	FFHH-501	0		O135	O135-504	10
FFHH	FFHH-502	0		O135	O135-505	40
FFHH	FFHH-503	1		O135	O135-506	3
FFHH	FFHH-504	1		O135	O135-507	0
IIAC	IIAC-501	92		OP91	OP91-501	0
IIAC	IIAC-502	68		OSAE	OSAE-501	0
IIAC	IIAC-503	0		RAMP	RAMP-501	30
IIAC	IIAC-504	0		RAMP	RAMP-502	123
IIAC	IIAC-505	0		TAAP	TAAP-501	29
IIAC	IIAC-506	25		TAAP	TAAP-504	28
IMED	IMED-501	22		TAAP	TAAP-505	26
LING	LING-501	7		TAAP	TAAP-506	0
O121	O121-501	6		TOTAL		970
O121	O121-502	19				
O121	O121-503	24				
O121	O121-504	80				
O121	O121-505	92				
O121	O121-506	6				

ANEXO G: Reprodução parcial da tabela *solicitacoes* de *cheque* de piloto extraída do banco de dados do sistema 32EP

Solicitação (ID)	Data de registro	Detalhamento	Código do Aeródromo	Código do Simulador
...
38581	10/03/2017 10:55	Funcao a bordo: pic # Hab. Equipemento: rev C525 # Hab. Operacao: rev IFRA #	50	\N
38583	10/03/2017 11:40	Funcao a bordo: pic # Hab. Equipemento: rev EC35 # Hab. Operacao: rev IFRH #	109	\N
38584	10/03/2017 11:41	Funcao a bordo: pic # Hab. Equipemento: rev EC35 # Hab. Operacao: rev INVH #	109	\N
38586	10/03/2017 11:52	Funcao a bordo: pic # Hab. Equipemento: rev BE30 # Hab. Operacao: rev IFRA #	65	\N
38590	10/03/2017 12:52	Funcao a bordo: pic # Hab. Equipemento: rev R44 #	95	\N
38592	10/03/2017 13:36	Funcao a bordo: pic # Hab. Equipemento: rev C550 # Hab. Operacao: rev IFRA #	16	\N
38593	10/03/2017 13:40	Funcao a bordo: pic # Hab. Equipemento: rev C550 # Hab. Operacao: rev IFRA #	16	\N
38594	10/03/2017 14:33	Funcao a bordo: pic # Concessao licenca: PLA - Piloto de Linha Aérea # Hab. Equipemento: rev MLTE # Hab. Operacao: rev IFRA #	44	\N
38595	10/03/2017 15:04	Funcao a bordo: pic # Hab. Equipemento: rev R44 # Hab. Operacao: rev INVH #	109	\N
38596	10/03/2017 15:07	Funcao a bordo: pic # Hab. Equipemento: rev SK76 # Hab. Operacao: rev INVH #	109	\N
38597	10/03/2017 00:00	Função: exa. cred. piloto, Equip. (CHT): MNTE, Obs.: EX CRED PARA PPA, PCA, MNTE, INVA E IFRA (MR TOP FLY - ESCOLA DE AVIAÇÃO CIVIL LTDA - PROCESSO Nº 00065.506444/2017-56),,	94	\N
38598	10/03/2017 15:40	Funcao a bordo: pic # Hab. Equipemento: rev B739 # Hab. Operacao: rev IFRA #	\N	13

Solicitação (ID)	Data de registro	Detalhamento	Código do Aeródromo	Código do Simulador
38599	10/03/2017 15:41	Funcao a bordo: pic # Hab. Equipemento: rev B739 # Hab. Operacao: rev IFRA #	\N	13
38600	10/03/2017 16:05	Funcao a bordo: pic # Concessao licenca: PLH - Piloto de Linha Aérea # Hab. Equipemento: con BH23 # Hab. Operacao: rev IFRH #	86	\N
38601	10/03/2017 17:49	Funcao a bordo: pic # Hab. Equipemento: rev C525 # Hab. Operacao: rev IFRA #	50	\N
38602	10/03/2017 17:50	Funcao a bordo: pic # Hab. Equipemento: rev C525 # Hab. Operacao: rev IFRA #	50	\N
38604	10/03/2017 18:11	Funcao a bordo: pic # Hab. Equipemento: rev BE90 # Hab. Operacao: rev IFRA #	50	\N
...

ANEXO H: Reprodução parcial da tabela *missoes vs solicitacoes* extraída do banco de dados do sistema 32EP

Alocação (ID)	Missão (ID)	Solicitação (ID)	Status da Alocação
...
23764	10634	20267	alocada
23765	10634	20693	alocada
23766	10634	21083	alocada
23767	10634	21706	alocada
23768	10634	21712	alocada
23769	10634	22127	alocada
...
46002	20008	32963	alocada
46003	20008	32965	desmembrada
46004	20008	32968	alocada
46005	20008	32970	alocada
46006	20008	32972	alocada
...
56383	26231	40934	desmembrada
56384	26231	40987	desmembrada
56385	26231	40988	alocada
56386	26231	41042	desmembrada
56387	26231	41043	desmembrada
...
60603	29084	44462	desmembrada
60701	29156	44462	desmembrada
60703	29158	44462	alocada
...

ANEXO I: Reprodução parcial da tabela *convocacoes* extraída do banco de dados do sistema 32EP

Convocação (ID)	Missão (ID)	Inspetor (ID)	Status da Convocação
...
34859	13567	80	aceita
...
58427	17768	328	recusada
58503	17768	231	recusada
58744	17768	59	recusada
58967	17768	327	aceita
...
89758	23707	207	cancelada
...
95669	25515	247	cancelada
95729	25515	127	aceita
...
99627	26333	15	expirada
99716	26333	73	aceita
...